

# VU Research Portal

## Aandacht voor veiligheid, leven met water, klimaat voor ruimte, dg water

Aerts, J.; Sprong, T.; Bannink, B.; Bessembinder, J.; Koomen, E.; Jacobs, C.G.W.; van der Hoeven, E.M.M.M.; Huitema, D.; van 't Klooster, S.; Veraart, J.; Walraven, A.; Jonkman, S.N.; Maaskant, B.; Bouwer, L.M.; de Bruijn, K.; Oosterveld, E.; Schuurman, H.; Peters, K.; Ottevanger, W.; Immerzeel, W.

2008

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### ***citation for published version (APA)***

Aerts, J., Sprong, T., Bannink, B., Bessembinder, J., Koomen, E., Jacobs, C. G. W., van der Hoeven, E. M. M., Huitema, D., van 't Klooster, S., Veraart, J., Walraven, A., Jonkman, S. N., Maaskant, B., Bouwer, L. M., de Bruijn, K., Oosterveld, E., Schuurman, H., Peters, K., Ottevanger, W., ... Naples, M. (2008). *Aandacht voor veiligheid, leven met water, klimaat voor ruimte, dg water*. VU Amsterdam.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

# Aandacht voor Veiligheid

Jeroen Aerts, Ton Sprong, Bert Bannink (eds)





# Aandacht voor Veiligheid

Jeroen Aerts, Ton Sprong, Bert Bannink (eds)

Aandacht voor Veiligheid is tot stand gekomen in samenwerking met DG Water en de Bsik-programma's, Klimaat voor Ruimte en Leven met Water

[www.klimaatvoorruimte.nl](http://www.klimaatvoorruimte.nl)

[www.levenmetwater.nl](http://www.levenmetwater.nl)

De achtergrondrapporten van deze studie (zie Annex 4) staan digitaal op [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl) -> AVV

#### **Auteurs:**

J. Aerts (VU-IVM, redactie), T. Sprong (DG Water, redactie), B. Bannink (EcoWater, redactie), J. Bessembinder (KNMI), E. Koomen (VU-FEWEB / Geodan Next), Ch. Jacobs (VU-FEWEB), N. van der Hoeven (VU-FEWEB), D. Huitema (VU-IVM), S. van 't Klooster (VU-IVM), J. Veraart (WUR), A. Walraven (VU-IVM), S.N. Jonkman (TU Delft), B. Maaskant (TU Delft), L.M. Bouwer (VU-IVM), K. de Bruijn (Deltares), E. Oosterveld (Movares), H. Schuurman (Movares), K. Peters (Movares), W. Ottevanger (Movares), W. Immerzeel (Future Water), P. Droogers (Future Water), J. Kwadijk (Deltares), J. Kind (Waterdienst), L. Voogt (RIKZ / Waterdienst), H. van der Klis (Deltares), R. Dellink (VU-IVM), F. Affolter (VU-IVM), Ph. Bubeck (VU-IVM), M. van der Meulen (Deltares), G. de Lange (Deltares), B. Bregman (KNMI), H. van den Brink (KNMI), H. Buiteveld (Waterdienst), S. Drijfhout (KNMI), A. Feijt (KNMI), W. Hazeleger (KNMI), B. van den Hurk (KNMI), C. Katsman (KNMI), A. Kattenberg (KNMI), G. Lenderink (KNMI), E. Meijgaard (KNMI), P. Siegmund (KNMI), M. de Wit (Deltares), M. Naples (VU-IVM), Emiel van Velzen (Deltares) en Johan van Zetten (RIZA).

Onze speciale dank gaat uit naar de reviewers van dit rapport. Zij hebben met grote zorg en toewijding zeer gedetailleerde suggesties en commentaar geleverd. Dat heeft ervoor gezorgd dat dit onderzoek een belangrijke inhoudelijke stap vooruit heeft gemaakt.

#### **De reviewers zijn:**

M. Kok (HKV), B. de Bruijn (ex Waterschap Rivierenland), J. Dijkman (Deltares), F. Klijn (Deltares), N. Pieterse (RPB), E. Gloudemans (UvW), P. Vellinga (WUR, VU), H. van Waveren (Waterdienst), H. Buiteveld (Waterdienst), W. Silva (Waterdienst), J. Knoop (MNP), B. Satijn (Leven met Water), C.J. Reigersman (Leven Met Water), W. Ligtoet (MNP), L.M. Bouwer (VU-IVM), H. de Moel (VU-IVM), A. te Linde (VU-IVM/ Deltares).

ISBN: 978-90-8815-004-3

Rapportnummer: 009/2008

#### **Copyright © 2008 Leven met Water, Klimaat voor Ruimte, DG Water**

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without the prior written permission of the copyright holder.

# Inhoudsopgave

Voorwoord	5
Samenvatting en Aanbevelingen	7
Synthese	11
<b>1 Inleiding</b>	<b>23</b>
1.1 Aanleiding en doel van deze studie	23
1.2 Afstemming beleid en onderzoek.	26
1.3 Het Discussie Ondersteunend Systeem (DOS)	28
<b>2 Waterveiligheid en lange termijn veranderingen</b>	<b>31</b>
2.1 Klimaatscenario's	32
2.2 Sociaal-economische trends	43
2.3 Trends en Discontinuïteiten	49
<b>3 Waterveiligheid en beleid</b>	<b>51</b>
3.1 Hoe gaat het huidig waterveiligheid beleid om met de lange termijn?	51
3.2 Waterveiligheid en Ruimtelijke ordening	57
3.3 Zijn we institutioneel voorbereid op lange termijn klimaatverandering?	58
3.4 Waterveiligheid en de EU Richtlijn overstromingsrisico's	59
<b>4 Kwetsbaarheid: Effecten van lange termijn veranderingen</b>	<b>61</b>
4.1 Definities van kwetsbaarheid	61
4.2 De kans op een overstroming	65
4.3 Schade en slachtoffers als gevolg van een overstroming	72
4.4 Wateroverlast	84
<b>5 Visies over oplossingsrichtingen</b>	<b>93</b>
5.1 Nationale oplossingsrichtingen	95
5.2 Ruimte voor water	97
5.3 Terugtrekken	98
5.4 Tweede kustlijn	99
5.5 Kustverbreding en Eilanden	104
5.6 Veiligheid en energie	106
5.7 Wonen op de dijk	108
<b>6 Oplossingsrichtingen</b>	<b>109</b>
6.1 Business As Usual (BAU)	110
6.2 Oplossingsrichting Nederland Omhoog	112
6.3 Combinatie BAU en Ophogen	115
6.4 Maatregelen ten behoeve van Wateroverlast	120

7	Effecten van de oplossingsrichtingen	123
7.1	Effect op de kans op een overstroming	123
7.2	Effect op potentiële schade	124
7.3	Ontwikkeling in het Schaderisico	126
7.4	Ruimtelijke evaluatie van oplossingsrichtingen	128
8	Kosten van oplossingsrichtingen	135
8.1	Kostenschatting van de oplossingsrichting Business as Usual (BAU)	135
8.2	Kosten Nederland Omhoog	144
8.3	Kosten Randstad Veilig	146
8.4	Ruwe kostenschattingen wateroverlast en klimaatverandering	152
8.5	Vergelijking kosten waterveiligheid	154
9	Omslagpunten in investeringen	157
9.1	Investeringen in de tijd	157
9.2	Investeringsroutes en omslagpunten	158
9.3	Omslagpunten in een economisch perspectief	162
10	Het Discussie Ondersteunend Systeem (DOS)	165
10.1	Doel en context	165
10.2	Het DOS AVV op hoofdlijnen	166
10.3	Wat ons staat te wachten als we Nul referentie kiezen	168
10.4	Oplossingsrichtingen	171
10.5	Aanbevelingen voor het vervolg	174
	Literatuurlijst	175
	Annex	
1	Lijst van geïnterviewde experts	187
2	Lijst van workshops	189
3	Lijst van AVV achtergrondrapporten	191
4	Klankbordgroep Aandacht voor Veiligheid	193
5	Mogelijk aanvullende aannames op WLO scenario's	195

# Voorwoord

Aandacht voor veiligheid moet steeds opnieuw worden gevraagd, ook in een land wat gerekend wordt tot een van de veiligste Deltagebieden van de wereld. Dankzij de enorme inspanningen van de afgelopen eeuwen, hebben we Nederland zo veilig gemaakt. Maar onze inspanningen om het ook voor de verre toekomst zo te houden zullen minstens zo hoog moeten zijn en waarschijnlijk veel hoger. Daarom zijn DGWater, Klimaat voor Ruimte en Leven met Water in zee gegaan met het consortium Aandacht voor Veiligheid, onder leiding van de Vrije Universiteit Amsterdam om veiligheidsperspectieven voor de lange termijn te verkennen. En dit is nodig, niet alleen vanwege de klimaatverandering en zeespiegelrijzing. Het aantal Nederlanders en de investeringen in de infrastructuur achter de dijk blijft toenemen ook in de komende decennia. In het westen van ons land bieden alleen de diep gelegen polders hiervoor de ruimte. Meer mensen en meer kapitaal in deze gebieden vraagt om een verhoging van het veiligheidsniveau.

Aandacht voor Veiligheid onderzoekt de uiterste grenzen van het thema waterveiligheid, klimaatverandering en mogelijke oplossingen in de ruimtelijke ordening. Het is gebaseerd op een grondige analyse vanuit de beschikbare gegevens en bestaande onderzoeken. Daarbij worden meerdere opties onderzocht qua kosten, opbrengsten en risicoreductie. De variant Nederland Omhoog is daarbij een van de uiterste waarbij onderzocht wordt of nieuwe woningen op 5 m hoge terpen aangelegd kunnen worden. Met deze variant wordt aangegeven dat de ruimtelijke ordening nog veel mogelijkheden biedt om Nederland meer klimaatbestendig in te richten.

Het project is een eerste fase van een meerjarig project waarin structureel aandacht wordt gegeven aan waterveiligheid. Het vervolgonderzoek zal geïncorporeerd worden in WV21. De Deltacommissie o.l.v Prof. Cees Veerman heeft deze verkenning gebruikt als onderliggend rapport voor een nieuwe visie op een veilige inrichting van Nederland.

Wij wensen de geïnteresseerde lezer inspiratie en aandacht toe, Aandacht voor Veiligheid.

*Bert Satijn*  
*Leven met Water*

*Pier Vellinga*  
*Klimaat voor Ruimte*





# Samenvatting en Aanbevelingen

## Aandacht voor Veiligheid

Aandacht voor Veiligheid is een haalbaarheidsstudie waarin wordt verkend welke informatie en methoden beschikbaar zijn om ontwikkelingen op het gebied van waterveiligheid in Nederland op de lange termijn te bestuderen. De studie heeft als opdracht meegekregen om de bandbreedten te verkennen in zowel mogelijke toekomstscenario's als ook de oplossingsrichtingen.

De beschikbare informatie is verzameld en samengevat in een prototype discussie ondersteund systeem (DOS). De achtergrondrapporten (zie Annex 4) van deze studie staan digitaal op [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl) → AVV

## Samenvatting

Projecties voor de kustzone laten zien dat de zeespiegel tussen 1990 en 2100 met 35 tot 85 cm kan stijgen en dat piekafvoeren van rivieren met name in de winter toenemen, net als extremen in lokale neerslag. Verkenningen van de zeespiegelstijging in de 22<sup>e</sup> eeuw geven aan dat het tempo in die periode nog kan versnellen tot een bovengrens van ongeveer 1,5 m per eeuw. De ontwikkeling van waterveiligheid op de lange termijn is echter zeer complex en is afhankelijk van een groot aantal trends (bestuur, landgebruik, klimaat, sociaal economische ontwikkelingen) die zijn omgeven met een grote onzekerheid.

Duidelijk is dat mogelijke oplossingsrichtingen voor waterveiligheid nauw zijn verweven met de ruimtelijke inrichting van Nederland. Dat geldt voor de nu voorgenomen maatregelen zoals dijkverzwaring en rivierverruiming maar ook voor eventuele nieuwe maatregelen in de ruimtelijke ordening die betrekking hebben op locatiekeuze, inrichting en bouwwijze. De ruimte voor oplossingsrichtingen is schaars en die schaarste zal de komende decennia alleen nog maar toenemen.

Ondanks deze complexiteit en onzekerheden worden er op dit moment grote investeringen gedaan in infrastructuur en ruimtelijke ordening die direct van invloed zijn op de potentiële schade als gevolg van een overstroming en het schaderisico (kans maal gevolg). Zo blijkt dat de invloed van zeespiegelstijging op het schaderisico ongeveer even groot is als de invloed van ruimtelijke ontwikkelingen in landgebruik bij een zeespiegelstijging van maximaal 60 cm per eeuw. Beide trends zorgen voor een stijging van het schaderisico met een factor 7 à 8 ten opzichte van de huidige situatie. Bij een grotere zeespiegelstijging neemt het schaderisico zeer snel toe. Bij een stijging van de zeespiegel van 150 cm per eeuw wordt het schaderisico circa 200 keer hoger dan nu. Dit heeft te maken met snel stijgende kansen op een overstroming met name in het benedenrivierengebied.

De kosten voor een Business As Usual (BAU) variant waarin het huidige beleid van dijkversterkingen, zandsuppleties en rivierverruiming wordt doorgezet zijn niet uitzonderlijk hoog. De jaarlijkse kosten van de BAU oplossingsrichting is 0,3 en 0,6 miljard euro/jaar voor respectievelijk 60 cm en 150 cm zeespiegelstijging per eeuw. De commissie Vellinga (2006) komt op zeer vergelijkbare getallen van 0,4 en 0,7 miljard euro/jaar.

De komende decennia worden er tussen de 500.000 en 1.500.000 woningen gebouwd waarvan een groot deel in laag Nederland. Deze studie laat zien dat door deze woningen overstromingsbestendig te bouwen schadereductie mogelijk is. Het schaderisico wordt dan nog eens een factor 2 minder als naast een Business as Usual variant nieuwbouwwoningen worden opgehoogd tot +5 m NAP. De kosten van opgehoogde nieuwbouwhuizen zijn hoger en variëren tussen de 0,4 en 1,7 miljard euro/jaar, hetgeen overeenkomt met 0,1-0,5% van het BNP.

Dijkversterking levert de hoogste reductie op in het schaderisico bij de gehanteerde scenario's. Gevolgbeperkende maatregelen in de ruimtelijk ordening als additionele oplossingsrichting zijn echter goed mogelijk als er ook een economische perspectief is bijvoorbeeld door middel van multifunctioneel ruimtegebruik.

## Aanbevelingen

Op basis van de studie is samengevat welke hiaten er zijn in de beschikbare informatie en welke methoden bruikbaar of juist niet werken met bijbehorende onzekerheden.

## Scenario's

### Klimaatscenario's

- **KNMI 06 scenario's:** Het uitgangspunt voor deze studie zijn de KNMI 06 scenario's. Deze zijn goed te gebruiken. Echter, om inzicht te krijgen in de robuustheid van oplossingsrichtingen is het aan te bevelen om ook te kijken naar een zeespiegelstijgingsscenario van meer dan 85 cm/eeuw. In deze studie is daarom ook gekozen voor 150 cm/eeuw zeespiegelstijging.
- **Extreme zomerneerslag aan de kust:** de regionale klimaatmodellen die gebruikt zijn voor de KNMI'06 scenario's hebben een te lage ruimtelijke resolutie om onderscheid te kunnen maken tussen de kustzone en de gebieden meer landinwaarts. Uit nieuwe berekeningen blijkt dat, afgezien van de meest extreme neerslag (99-percentiel), de neerslagextremen in de kustzone ongeveer 30-40% hoger zijn dan landinwaarts. De gebruikte temperatuurafhankelijkheden voor extreme zomerneerslag in de G+ en W+.
- **Extreme rivierafvoeren:** In dit rapport is gewerkt met maximale afvoeren van 18.000 m<sup>3</sup>/s voor de Rijn en 4600 m<sup>3</sup>/s voor de Maas. Deze afvoeren zijn genoeg onderscheidend om inzicht te geven in de robuustheid van oplossingsrichtingen.

### Sociaal economische scenario's

- Tot 2040 zijn de WLO scenario's gebruikt. Deze zijn goed bruikbaar ondermeer ook omdat resultaten met andere studies kan worden vergeleken.
- Het doorredeneren van de WLO scenario's na 2040 is te onzeker. Zo kunnen niet voorziene trendbreuken een scenario drastisch wijzigen. Deze studie heeft er daarom voor gekozen om voor de periode 2040-2100 met twee extreme sociaal economische scenario's te werken die qua bevolkingsgroei (en afname) en economische ontwikkeling een grote bandbreedte omvat.
- Er bestaat nauwelijks kennis over het modeleren van een trendbreuk in een sociaal economische scenario, hoewel extreme gebeurtenissen van grote invloed zijn.
- Landgebruikssimulaties zijn uitgevoerd met de het landgebruiksmodel de "Ruimtescanner". Deze bruikbaar voor ondermeer schademodelering zoals eerder gedaan in de studie Nederland Later (zie Klijn et al., 2007).

### Bestuurlijke scenario's

- Bestuurlijke trends zijn verwerkt in de bestaande WLO scenario's maar hier wordt niet gekeken naar het voorkomen van trendbreuken.
- Meer aandacht is nodig voor de effecten van de nieuwe EU hoogwaterrichtlijn.

## Effecten

- De gebruikte indicatoren voor de kwetsbaarheid ten aanzien van overstromingen zijn goed te kwantificeren.
- Aanvullende onderzoek is nodig naar het gebruik van de indicator: "Ruimtelijke kwaliteit". Deze is slechts globaal meegenomen in de analyses.
- De factor "adaptive capacity" of herstelvermogen is niet bekeken in deze studie maar is wel van belang in het bepalen van de mogelijke gevolgschade van een overstroming.
- De kans op overschrijding is bepaald met decimeringshoogten. Deze methode geeft een goed inzicht in hoe kansen veranderen onder aanname van een groot aantal scenario's. Aanvullend onderzoek is nodig of de aanpak met decimeringshoogte ook zondermeer kan worden toegepast bij zeespiegelstijging van meer dan 150 cm/eeuw.
- De potentiële schade is bepaald met het model de damage scanner. Deze aanpak is een sterke vereenvoudiging van het HISS-SSM model en is gekozen omdat er daarmee zeer veel scenario combinaties zijn doorgerekend. Dat is vooralsnog niet mogelijk met het HISS-SSM. Er is ervoor gekozen de basis schadeschatting te ontleen aan de studie van Klijn et al., 2007 die een "Best estimate" hebben gemaakt voor het jaar 2000.
- Het nauwkeurig inschatten van de indirecte schade is van belang omdat deze voor een groot gedeelte de totale omvang van de schade bepaald. Dat blijkt zeer complex en er zijn geen modellen beschikbaar die de indirecte schade kunnen simuleren.

## Oplossingsrichtingen

- Er is gewerkt met twee oplossingsrichtingen: Een Business As Usual (BAU) variant die de kans op een overstrooming niet laat toenemen. En een ophoog-variant die als doel heeft de gevolgschade zoveel mogelijk te beperken. Het gebruik van deze varianten heeft inzicht gegeven in de bandbreedte van effecten van oplossingsrichtingen.
- Er is alleen op nationale schaal gekeken naar maatregelen. Vervolg onderzoek moet ook de regionale schaal betrekken in de analyse.

## Kosten

- De kosten voor dijkversterking zijn bepaald door bestaande kostenfuncties door te trekken. Deze functies gaan echter niet verder dan een zeespiegelstijging van 150 cm. De extrapolaties naar nog hogere zeespiegelstijgingsscenario's zijn met zeer veel onzekerheid omgeven.
- Er is een generieke methode ontwikkeld om de kosten van oplossingsrichtingen te bepalen in de tijd. Het instrumentarium houdt rekening met een discontovoet en met investeringsmomenten en is beschikbaar voor zowel de BAU variant als de ophoog variant.
- Er is nog geen volledige Maatschappelijke Kosten Baten afweging gemaakt. Daarvoor ontbreken nog een aantal kosten en baten posten.

## Discussie Ondersteunend Systeem (DOS)

- Het prototype DOS is operationeel en geeft inzicht in mogelijke lange termijn scenario's, de effecten op waterveiligheid en de mogelijk oplossingsrichtingen.
- Het prototype DOS heeft de beschikbare informatie samengevat en maakt gebruik van een database die samen is ontwikkeld met het project WV21. De aanbeveling is om in een vervolgfase een uniform WV21 systeem te ontwikkelen waarin een lange termijn component is geïntegreerd die gebaseerd is op de resultaten van AVV.
- Om het DOS in te zetten binnen lopende discussies met belanghebbenden over waterveiligheid en de inrichting van een gebied is de aanbeveling te kijken waar het DOS kan worden ingezet op de regionale schaal. Hierbij kan bijvoorbeeld worden aangesloten bij de aanpak van de ARK-, Leven met Water- en Kennis voor Klimaat programma's.



## Klimaatscenario's

Het uitgangspunt voor het gebruik van klimaatscenario's binnen het project Aandacht Voor Veiligheid zijn de KNMI (2006) scenario's. Projecties voor de kustzone laten zien dat de zeespiegel tussen 1990 en 2100 met 35 tot 85 cm kan stijgen en dat piekafvoeren van rivieren met name in de winter toenemen, net als extremen in lokale neerslag (KNMI 2006, 2008). Een inventarisatie over het voorkomen van klimaatextremen laat het volgende zien:

- **Extreme zeespiegelstijging:** de gemiddelde lokale zeespiegelstijging in onze regio in het jaar 3000 bedraagt 5,5 m ten opzichte van 2000, met een bandbreedte tussen de ruim 2 en bijna 9 m (Tabel 1). De KNMI'06 scenario's geven voor de tweede helft van de 21e eeuw een bovengrens van 50 cm zeespiegelstijging in 50 jaar (ofwel een snelheid van 1 m per eeuw). Verkenningen van de zeespiegelstijging in de 22e eeuw geven aan dat het tempo in die periode nog kan versnellen tot een bovengrens van ongeveer 1,5 m per eeuw.
- **Superstormen:** Klimaatmodellen laten zien dat het gebied waar nu op de Noord-Atlantische Oceaan superstormen zouden kunnen voorkomen vrij zuidelijk ligt, en dat deze superstormen lijken te ontstaan door het samensmelten van depressies. Op dit moment zijn er geen aanwijzingen dat er in het gebied rond Nederland superstormen kunnen voorkomen.
- **Extreme neerslag:** In de afgelopen 55 jaar is de temperatuur van de Noordzee in de zomer ongeveer 1,2-1,5 °C gestegen. In de kuststrook is daardoor de neerslag in de zomer gemiddeld sterker toegenomen dan meer landinwaarts. Uit deze nieuwe berekeningen blijkt dat, afgezien van de meest extreme neerslag (99-percentiel), de neerslagextremen in de kustzone ongeveer 30-40% hoger zijn dan landinwaarts. De gebruikte temperatuurafhankelijkheden voor extreme zomerneerslag in de G+ en W+ scenario's lijken gezien de bovenstaande analyses daarom te laag voor de kustregio's.
- **Extreme afvoeren van Rijn en Maas:** Op basis van het WB21 midden scenario voor het einde van deze eeuw is voor de PKB "Ruimte voor de Rivier" een toekomstige maatgevende Rijnafvoer ( $Q_{1250}$ ) van 18.000 m<sup>3</sup>/s aangenomen en bij de "Integrale Verkenning Maas" een maatgevende Maasafvoer ( $Q_{1250}$ ) van 4.600 m<sup>3</sup>/s voor 2100. Deze waarden zijn ook binnen AVV gebruikt.

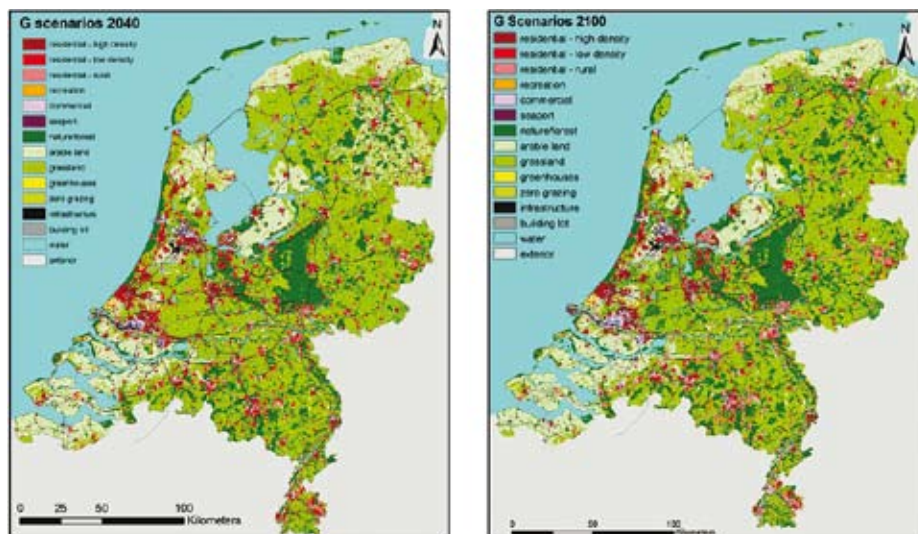
## Sociaal Economische scenario's

De scenariostudie 'Welvaart en Leefomgeving' (WLO) heeft 4 scenario's ontwikkeld waarin effecten van bevolkingsontwikkeling en economische structuur voor 2020-2040 zijn beschreven. Uit deze scenario's blijkt ondermeer dat er tot 2040 tussen de 500.000 en 1.500.000 woningen worden gebouwd. Dit is aanleiding geweest voor deze studie om te bekijken of deze ruimtelijke ontwikkeling aan te grijpen is zodat de gevolgen van een overstrooming op nieuwbouw locaties worden verkleind.

Omdat de bestaande WLO scenario's niet verder kijken dan 2040 is besloten twee scenario's ("Regional Communities", RC en "Global Economy", GE) systematisch door te redeneren naar het jaar 2100. De scenario's geven een bandbreedte aan van 15-22 miljoen inwoners in 2100 en een gemiddelde economische groei van 1,0%-2,2% per jaar. De scenario's zijn gebruikt om het mogelijk landgebruik voor 2040 en 2100 te simuleren (Figuur 2).

FIGUUR 2

Simulaties van het ruimtegebruik in 2040 en 2100 onder het Global Economy scenario [hoge economische groei en grote bevolkingstoename].



## Huidige beleidsnota's en de lange termijn

Er wordt op dit moment al veel geïnvesteerd om de kansen op overstromingen te beperken. Belangrijke programma's zijn bijvoorbeeld het HoogWater BeschermingsProgramma, PKB Ruimte voor de Rivier en Zwakke Schakels aan de kust. Toch zijn er grote verschillen in hoeverre beleidsnota's op het gebied van waterbeheer en ruimtelijke ordening (RO) de lange termijn benaderen (>20-30 jaar). De meeste nota's beslaan de periode tot 2015-2020 en het blijkt dat veel strategische nota's sociaal-economische- en bestuurlijke trends nauwelijks meenemen of niet noemen. Ook zijn de planninghorizonten van de nota's zeer verschillend. De nota's met betrekking tot de kust werken met klimaatscenario's tot 2050 en bieden zelfs een doorkijk naar 2200.

De afstemming tussen RO beleid met sectorale ruimteclaims voor landbouw, natuur, steden, etc. en de ruimte die daarnaast voor waterveiligheid nodig is, wordt steeds belangrijker. Veel van het nu voorgenomen beleid zou daarom worden geëvalueerd op haar klimaatbestendigheid en de kwetsbaarheden die op grond van die analyse naar voren komen kunnen ruimtelijk expliciet worden weergegeven. Dit is van belang omdat hierin een kans ligt om grootschalige investeringen in de ruimtelijke ordening zo uit te werken dat ze meer klimaatbestendig worden waardoor risico's en kosten zullen afnemen. Klimaatadaptatie van ruimtelijke investeringen zou dan samengaan met inzichten ten aanzien van duurzaamheid, versterking van het landschap, verbetering van de infrastructuur en binnenstedelijke herstructurering. In dat kader geeft de nieuwe Europese Hoogwaterrichtlijn een handelingsperspectief omdat deze expliciet spreekt over het in kaart brengen van overstromingsrisico's. Ook het Groenboek Klimaatadaptatie van de Europese Commissie roept op tot het integreren van klimaatadaptatie in diverse sectorale beleidslijnen.

## Gevolgen van klimaatverandering

De kans op een overstroming: Binnen het project AVV is vooralsnog alleen naar overschrijdingskansen gekeken (Sprong en Aerts, 2008). De resultaten laten zien dat bij 24 cm zeespiegelstijging en bij respectievelijk een Rijnafvoer van 16.700 m<sup>3</sup>/s en een Maasafvoer van 4.150 m<sup>3</sup>/s de kansen van een overschrijding van de



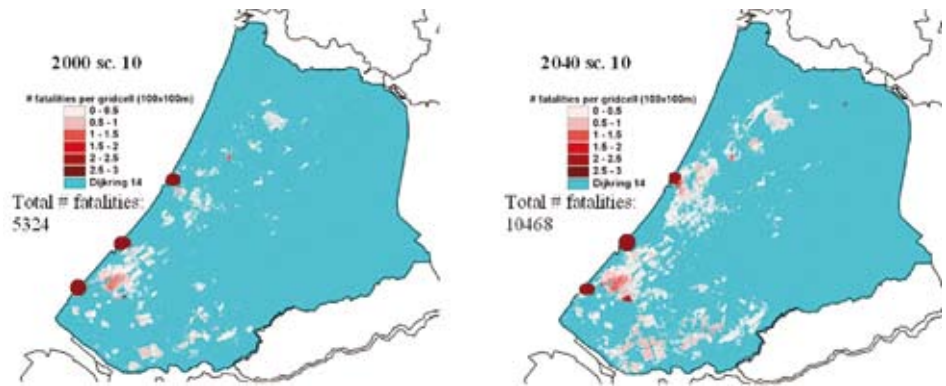
huidige maatgevende waterstand met een factor 2 à 3 gaan toenemen. Bij 60 cm zeespiegelstijging, een Rijnafvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s en een Maasafvoer van 4.600 m<sup>3</sup>/s neemt de kans toe met een factor die varieert van circa 5 tot circa 20. De verschillen hangen af van de plaats en van het gekozen scenario. Zo nemen de kansen in het Waddengebied sterker toe dan langs de Hollandse kust. Ook blijft de toename in het IJsselmeergebied beperkt doordat aangenomen is dat de voorgenomen uitbreiding van de spuicapaciteit een deel van de stijging van de zeespiegel opvangt. Bij een verdere zeespiegelstijging, bijvoorbeeld tot 150 cm, neemt uiteraard de kans nog verder toe, in sommige gebieden met een factor 1000. Die zeespiegelstijging heeft niet alleen invloed op de kust, maar werkt ook sterk door in het Benedenrivierengebied en op het IJsselmeergebied. Zo gaat bijvoorbeeld in de omgeving van Dordrecht (nu kans van 1/2000) de kans op overschrijding van de huidige maatgevende waterstand naar circa 1 maal per 3 jaar.

De potentiële economische schade: dit is combinatie van directe + indirecte schade. Voor de huidige (jaar 2000) totale potentiële schade (dus alle dijkringen samen) is uitgegaan van ongeveer 190 miljard euro. Voor 2040 neemt de potentiële schade toe bij 24-60 cm zeespiegelstijging en de RC en GE scenario's van ongeveer 400 tot 800 miljard euro. In 2100 kan dat oplopen tot 3700 miljard bij 150 cm zeespiegelstijging en het GE scenario. Economische groei, maar ook macro-economische effecten hebben een grote invloed op de potentiële schade. Als voorbeeld worden de cijfers voor New Orleans gegeven: voor de ramp met de orkaan Katrina werd de potentiële schade geschat op 16,8 miljard US\$. Na de ramp blijkt de schade tenminste 81 miljard US\$ te zijn, een factor 5 hoger. De oorzaak van dit verschil is niet geheel duidelijk. Zeer waarschijnlijk zijn de indirecte economische effecten onderschat, ook is mogelijk onvoldoende rekening gehouden met de neveneffecten van een overstroming.

Het verwachte aantal slachtoffers als gevolg van overstromingen wordt beschouwd als een belangrijke indicator van de kwetsbaarheid ten aanzien van overstromingen. Deze studie laat het effect zien op het slachtoffers potentieel in Zuid-Holland (Figuur 3) van ontwikkelingen in de ruimtelijke ordening in 2040 ten opzichte van het effect van klimaatverandering. De verwachte groei van de bevolking in kwetsbare gebieden in Zuid-Holland blijkt veel hoger dan de gemiddelde bevolkingsgroei in Zuid-Holland (+50% in de gebieden die zouden kunnen worden getroffen door overstromingen tegen +33% in het gehele gebied). Dit is een van de belangrijkste redenen waarom het geschatte aantal dodelijke slachtoffers sneller stijgt dan de gemiddelde groei van de bevolking voor Nederland. De gemiddelde groei wordt, uitgaande van een relatief hoog groeiscenario voor de bevolking, geschat op ongeveer 60% in 2040. Een zeespiegelstijging van 0,3 m zal naar verwachting leiden tot een gemiddelde stijging van het aantal dodelijke slachtoffers van ongeveer 20 procent. Echter, de invloed van de groei van de bevolking op het slachtofferrisico is aanzienlijk groter dan de invloed van de stijging van de zeespiegel met 0,3 m. De toename van het potentieel aantal slachtoffers wordt voornamelijk veroorzaakt door de groei van de bevolking in diepe polders en niet door deze (beperkte) stijging van de zeespiegel, omdat in diepe polders dat laatste effect relatief klein is. Zo zorgt de toename van 87% in bevolking in het Wateringse Veld in 2040 voor een toename van het potentieel aantal slachtoffers van 156% in dit gebied.

**FIGUUR 3**

Aantal slachtoffers bij een simultane dijkdoorbraak bij Katwijk, Ter Heijde en Den Haag onder het huidige landgebruik (links) en mogelijk toekomstig landgebruik bij het GE scenario (rechts).



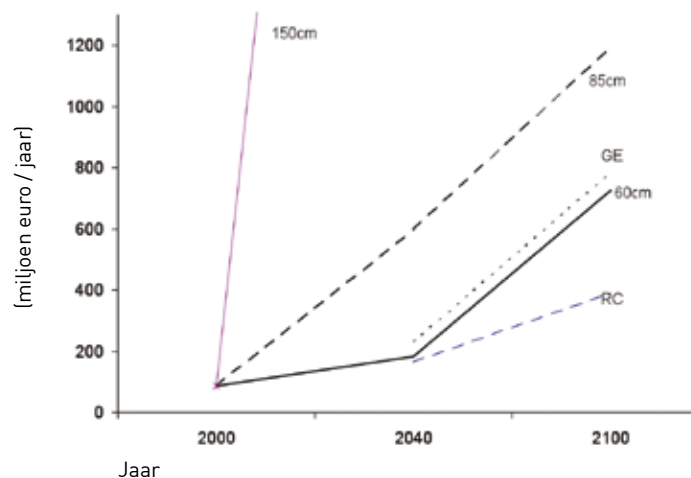
Het schaderisico. Er is een schatting gemaakt van de ontwikkeling in het schaderisico, gedefinieerd als kans \* schade. Het huidige schaderisico (jaar 2000) wordt ingeschat op 88 miljoen euro/jaar (Klijn et al., 2007). Om inzicht te krijgen in het effect van enerzijds economische groei en anderzijds de gevolgen van klimaatsverandering is eerst voor 2040 gekeken naar 2 uitersten, waarbij er tevens vanuit is gegaan dat er geen maatregelen worden getroffen (Figuur 4). Bij een zeespiegelstijging van 24 cm inclusief de bijbehorende Rijn- en Maasafvoer gecombineerd met een economische groei volgens het GE scenario neemt het schaderisico toe tot 400 miljoen euro/jaar. Als uitgegaan wordt van 60 cm zeespiegelstijging in 2040 en een economische groei volgens het GE scenario neemt het schaderisico toe tot 3.000 miljoen euro/jaar. Dit komt neer op een viervoudige-, respectievelijk een vijfentwintigvoudige toename van het risico. De invloed van zeespiegelstijging en economische groei (GE scenario) is ongeveer hetzelfde zolang de zeespiegelstijging niet meer dan 60 cm per eeuw bedraagt. Voor beide trends (60 cm/eeuw zeespiegelstijging of het GE scenario) wordt het risico in 2100 7 - 8 x hoger. Bij een zeespiegelstijging van 85 cm wordt het risico 100-200 x hoger voor respectievelijk het RC en GE scenario als er geen maatregelen zouden worden getroffen.

15

**FIGUUR 4**

Verloop van het schaderisico in de tijd waarbij steeds de invloed van één factor is bepaald (zeespiegelstijging of sociaal-economische groei) en de overige factoren constant zijn gehouden.

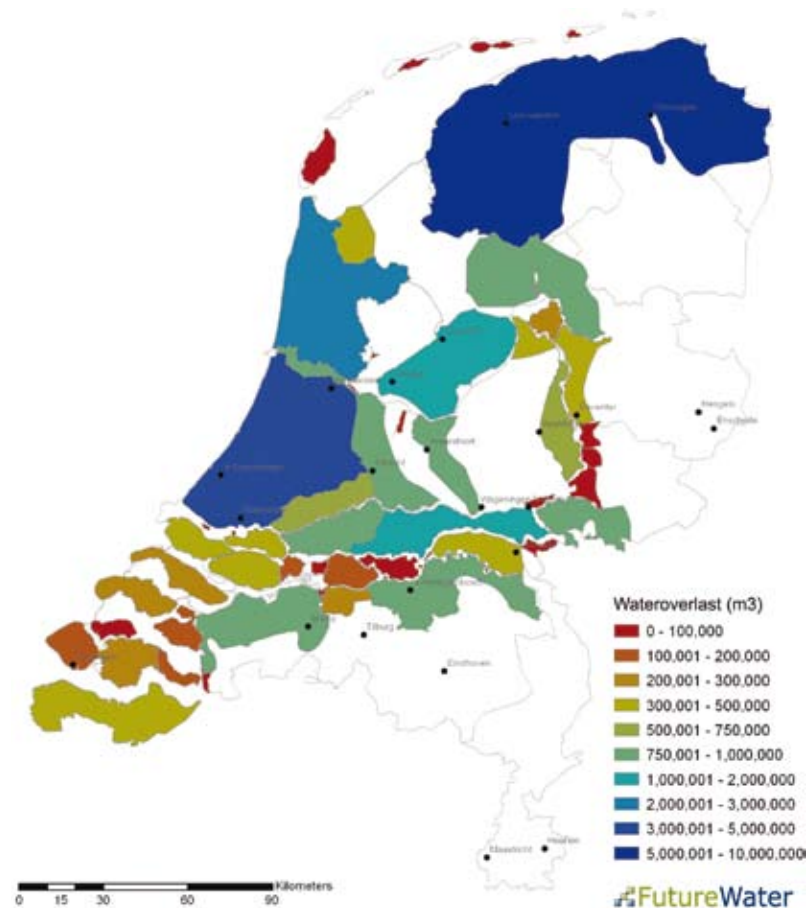
Invloed kans versus gevolg op schaderisico periode 2000-2100



Er is een globale inventarisatie gemaakt van de effecten van klimaatverandering op wateroverlast. De totale wateropgave (het extra volume water dat vastgehouden, geborgen of afgevoerd moet worden wanneer klimaatverandering doorzet) is ongeveer 425 miljoen m<sup>3</sup>/jaar in 2050 onder het KNMI midden scenario. In AVV is ook gekeken naar de effecten van klimaatverandering op extreme neerslag die binnen 24 uur valt. Resultaten voor het KNMI W scenario (2050) laten zien dat er met name in de dijkringen Friesland en Groningen, Zuid-Holland en Noord-Holland meer wateroverlast zal voorkomen (Figuur 5). Hier zullen dus de meeste (bergings-)maatregelen getroffen moeten worden om adequaat met een toename in extreme neerslag om te kunnen gaan. Opgemerkt wordt dat ook buiten het gebied van dijkringen wateroverlast een probleem zal vormen, bijvoorbeeld aan de noordelijke flanken van de Drentse Hondsrug en in Twente, Salland en Oost Brabant.

**FIGUUR 5**

Dijkringen met potentieel extra wateroverlast in m<sup>3</sup>/dag per dijkkring (W scenario 2050 t.o.v. huidige situatie).



## Bestaande Oplossingsrichtingen

Er bestaan zeer veel ideeën, visies en tot in detail uitgewerkte plannen om de toekomstige overstromingsveiligheid van Nederland te waarborgen. Deze oplossingsrichtingen kunnen we als volgt groeperen en beschrijven:

**Business as Usual:** deze oplossingsrichtingen gaan uit van extra 'beschermen' door het beperken van overstromingskansen door waterkeringen als dijken en duinen. De studies laten zien dat technisch gezien BAU ook mogelijk is onder extreme zeespiegelstijging

(150 cm / eeuw), maar dat er grote uitdagingen zijn tegen vaak hoge kosten. Het benedenrivierengebied wordt gezien als één van de meest kwetsbare gebieden. Bij zeespiegelstijging zal het gebied dat onder invloed staat van de zee, zich uitbreiden in oostelijke richting (circa 10 km per m zeespiegelstijging). Verschillende studies wijzen erop dat naast dijkverhoging langs de rivieren men ruimte moet maken voor keringen in de stedelijke gebieden. Verder blijkt uit literatuur onderzoek dat door zeespiegelstijging en bodemdaling de afvoer van water door vrij verval in gevaar komt.

**Ruimte voor water:** Hierin is water sturend en ruimtelijke maatregelen zoals rivierverruiming krijgen voorrang. Ook worden maatregelen genoemd als een brede overstroombare dijk en de optie om de afvoer van rivierwater vanuit het Hollands Diep naar zee via Volkerak-Zoommeer, Grevelingen en Oosterschelde te herstellen, waardoor ook in deze voormalige zeearmen zoetzout-gradiënten zouden terugkomen met (gedempt) getij. Verder wordt in deze oplossingsrichting gekozen voor het vernatten van het veenweide gebied (behoud van het veen) en het afkoppelen van het boezemsysteem van de laagste delen van het veen(weide)gebied (ontlasten van het boezemstelsel in perioden met grote afvoeren).

**Terugtrekken:** Het mechanisme voor een “retreat” variant wordt verschillend beschreven. Zo is er een variant waarbij er geen investeringen meer plaatsvinden in waterkeringen of dat er niet meer gebouwd mag worden beneden de +5 m NAP-lijn. Verspreid over enkele honderden jaren kan er dan een strategische terugtrekking plaatsvinden van de lagere gronden. De Randstad wordt overigens meestal behouden. De nadelen echter zijn een fors verlies (ongeveer 30%) van landoppervlak, het verlies van een groot gebied aan zoetwater-wetlands (IJsselmeer), verlies van woonkernen en steden en grote investeringen voor het behoud van de Randstad.

**Tweede kustlijn:** In een paar studies wordt gesproken over de aanleg van een tweede kustlijn. In deze variant wordt voor de gehele kust een dijk gevormd als nieuwe kustverdediging nabij de NAP-20 m kustlijn. De vrije afvoer van rivierwater naar zee wordt in meer of mindere mate gestopt. Het Deltagebied wordt gebruikt voor berging en van daaruit wordt het rivierwater naar zee gepompt. De studies verschillen in welke delen van de oude kust een open verbinding met de zee blijven behouden. In VenW (1986) wordt de Westerschelde afgedamd. Het voordeel van een variant met permanente keringen in de Nieuwe Waterweg en Zeeuwse wateren is dat de kwetsbare benedenrivieren en de Zeeuwse delta worden afgesloten van het getij, waardoor dijken daar niet hoeven te worden verhoogd. De bestaande stormvloedkeringen (Oosterscheldekering en Maeslantkering) worden opgeheven en de afvoer van de grote rivieren komt in de Zeeuwse wateren terecht van waaruit het water wordt uitgeslagen met enorme gemalen. In meer recente studies naar een tweede ringdijk blijven de Nieuwe Waterweg, het Noordzeekanaal en de Westerschelde in open verbinding met de Noordzee staan, maar de getijdenwerking in de Oosterschelde zal sterk worden verminderd. De benedenrivieren worden niet afgesloten van de Noordzee en de haven van Rotterdam behoudt een open verbinding met de zee.

**Rivieren:** In verschillende studies wordt het belang onderstreept van het zoveel mogelijk vrijhouden van het rivierengebied voor een goede doorstroom van de rivieren (Maas, Waal, Lek) naar de Zeeuwse wateren. Op termijn kan op die manier water daar tijdelijk worden geborgen. Ook is gekeken naar de mogelijkheid om meer water over

de IJssel af te voeren. Zo heeft de studie “Rijn op Termijn” (WLDelft, 1998) gekeken naar de mogelijkheid om 5.000 m<sup>3</sup>/s extra uit het stroomgebied van de Rijn via de IJssel af te voeren. Voor de Maas is de studie Integrale Verkenning Maas 2 (IVM 2) uit 2003 voorhanden.

**Eilanden & brede kust:** Kustverbreding heeft als voornaamste doel de veiligheid te waarborgen en de ruimtedruk van de Randstad te verminderen. Het plan Waterman (1981) is het meest bekend en voorziet in het winnen van 3.000 hectare land op de Noordzee tussen Hoek van Holland en Den Haag. Ook zijn er studies over nieuwe eilanden in zee. Eilanden voor de kust kunnen de veiligheid bevorderen door het verminderen van de golfhoogte en kunnen de ruimtedruk in de Randstad verminderen. Met deze nieuwe eilanden ontstaan mogelijkheden ten behoeve van ontwikkeling van flora, fauna, recreatie en stedelijk ontwikkeling. Grondige modelstudies moeten uitwijzen of eilanden inderdaad een gunstig effect hebben op veiligheid en of de natuurlijke zandmotor juist niet wordt verstoord.

## Oplossingsrichtingen in AVV

Binnen deze haalbaarheidsstudie is gekeken naar twee oplossingsrichtingen. Enerzijds is een Business As Usual (BAU) oplossingsrichting gekozen die zich richt op het handhaven van de huidige kans op overstromingen. Anderzijds is een ruimtelijk ordeningsvariant ontwikkeld die enkel als doel heeft de potentiële gevolgschade van een overstroming te beperken. De beschreven oplossingsrichtingen zijn in dat opzicht geen reële alternatieven, maar geven inzicht in de effectiviteit van kansenbeheersing ten opzichte van schadebeperking.

De oplossingsrichting Nederland Omhoog gaat uit van het idee om met lokaal gewonnen zand en zand uit de Noordzee, locaties voor nieuwe stadswijken en industriegebieden in laag Nederland op te hogen tot een veilige hoogte van +5 m boven het NAP.

In de oplossingsrichting ‘Nederland Omhoog’ omvat het idee om met lokaal gewonnen zand en zand uit de Noordzee, locaties voor nieuwe stadswijken en industriegebieden in laag Nederland op te hogen tot een veilige hoogte van +5 m boven het NAP.

Als we naar het effect kijken van de twee oplossingsrichtingen op de potentiële schade dan heeft de BAU-oplossingsrichting als effect dat de dijken hoger worden onder de verschillende klimaatscenario's. Hierdoor blijven de kansen gelijk aan de huidige wettelijke normen, ongeacht het klimaatscenario. De waterdieptes, als er toch een doorbraak plaatsvindt, nemen echter ook toe als gevolg van het ophogen van de dijken en dus neemt ook de potentiële schade toe. Nederland Omhoog doet niets aan de kans, maar reduceert de potentiële schade. Deze schadereductie van Nederland Omhoog ten opzichte van de “Nul referentie” (geen extra maatregelen) is in 2040 ongeveer 30% en in 2100 zelfs 50%. BAU laat juist een 2-14% hoger schade potentieel zien ten opzichte van de “Nul referentie”.

Het beeld voor het schaderisico (kans x potentiële schade) is geheel anders. De oplossingsrichting BAU resulteert in een schaderisico van 270 – 350 miljoen euro/jaar voor respectievelijk 24 cm en 60 cm in 2040 bij het GE scenario. Niettemin is dit een

stijging ten opzicht van de huidige situatie. Een belangrijke oorzaak van deze stijging is de economische groei, waardoor de waarde van de goederen achter de dijken sterk toeneemt. De oplossingsrichting Nederland omhoog resulteert als gevolg van deze scenario's in een schaderisico van 390-2060 miljoen euro/jaar. Bij een zeespiegelstijging van 85 cm en 150 cm in 2100 gaat de kans op overschrijding zeer sterk toenemen. De BAU variant beperkt de toename tot een factor 13-20 hoger dan het schaderisico in het jaar 2000. Voor Nederland Omhoog gaat het schaderisico in 2100 een factor 35-2200 omhoog.

Een beter resultaat voor het schaderisico wordt verkregen door beide oplossingsrichtingen te combineren. Het gecombineerde effect van de BAU oplossingsrichting en de ophoogvariant verlaagt het schaderisico met een factor 2 ten opzichte van alleen de BAU oplossingsrichting in 2100.

## Kosten van de mogelijke oplossingsrichtingen

### Kosten BAU

De kosten van de BAU oplossingsrichting bestaan uit de kosten van rivierverruiming, dijkverhoging en zandsuppleties langs de kust (Tabel 1). Voor het berekenen van de kosten van rivierverruiming is voor de Rijn uitgegaan van de informatie die verkregen is uit het onderzoek dat is verricht ten behoeve van de PKB Ruimte voor de Rivier. Voor de Maas is uitgegaan van de resultaten van de verkenning IVM2 (VenW, 2006d). Voor het berekenen van de kosten van dijkverhoging zijn diverse kostenfuncties gebruikt. Voor het rivierengebied waren deze voor het merendeel opgesteld ten behoeve van de kosten-baten analyse van het CPB voor de PKB Ruimte voor de Rivier (Pkb RvR, 2005). Voor de dijken langs kust stonden enkele aanvullende onderzoeken ter beschikking. Voor het IJsselmeergebied is gebruik gemaakt van informatie uit het WINBOS. Deze kostenfuncties gingen over het algemeen niet verder dan een verhoging van 1,5 m. Voor grotere verhogingen is de kostenfunctie geëxtrapoleerd.

Voor de zandige kust is uitgegaan van zandsuppleties. De benodigde hoeveelheid is berekend, uitgaande van een onderzoek van het RIKZ. Uitgegaan is van een eenheidsprijs van 3 euro/m<sup>3</sup>.

De kosten van de van zogenaamde verbindende waterkeringen (zoals de Deltawerken) zijn niet meegenomen. Onvoldoende is duidelijk in hoeverre en tot wanneer aanpassing van de huidige keringen mogelijk is.

Naast de hoogte van de kosten is ook het moment waarop de kosten gemaakt worden van belang. De kosten voor de zandsuppleties zijn te benaderen als jaarlijkse kosten. De stijgende zeespiegel wordt bijgehouden door jaarlijks te suppleren hoeveelheden zand. De rivierverruiming zal plaats gaan vinden, nadat het huidige project Ruimte voor de Rivier is afgerond en mede afhankelijk of en wanneer er in Duitsland maatregelen worden getroffen. De dijkverhoging hangt met name sterk af van de snelheid waarmee de zeespiegelstijging zich voltrekt. Afhankelijk van de omvang zal het in 1 of meer stappen gebeuren.

De kosten kunnen gepresenteerd worden in de vorm van de absolute kosten over een periode, als een contante waarde en als jaarlijkse kosten.

In onderstaande tabel worden de absolute kosten gepresenteerd, voor de periode 2015 – 2040, respectievelijk 2015 – 2100.

**TABEL 1**

Absolute kosten van de BAU oplossingsrichting in Miljard Euro onder verschillende scenario's van zeespiegelstijging en rivierafvoeren. (excl BTW).

	Scenario's				
	2040	2100	2100	2100	Verre toekomst
Zeespiegelstijging (cm)	24	60	85	150	500
Maatgevende afvoer Rijn	16800	18000	18000	18000	18000
Maatgevende afvoer Maas	4200	4600	4600	4600	4600
	Kosten in miljard euro				
<i>Binnenwateren</i>					
Rivierverruiming Rijn	2,7	5,5	5,5	5,5	5,5
Rivierverruiming Maas	1,3	4,2	4,2	4,2	4,2
Dijkverhoging	0,2	1,8	2,6	6,1	36
<i>Kust + Estuaria</i>					
Zandige kust	1,9	6,4	9,1	16,0	25
Suppletie Waddenzee	1,1	3,8	5,4	9,6	?
Suppletie Westerschelde	0,1	0,4	0,6	1,1	?
Dijkverhoging	1,9	2,3	2,6	3,4	8
<b>Totaal</b>	<b>9</b>	<b>24</b>	<b>30</b>	<b>46</b>	<b>&gt;80</b>

20

### Kosten Nederland Omhoog

De kostenposten (directe en indirecte kosten) die belangrijk zijn voor het ophogen en het onderhoud van de nieuwe stedelijke gebieden worden met name bepaald door de hoeveelheid ophoogmateriaal en de draagkracht van de bodem (Tabel 2). De benodigde hoeveelheid ophoogzand varieert van 40- 160 miljoen m<sup>3</sup>/jaar voor respectievelijk 60.000 – 260.000 ha nieuwbouw. Op dit moment wordt ongeveer 25-30 miljoen m<sup>3</sup>/jaar zand gewonnen uit de Noordzee.

**TABEL 2**

Niet verdisconteerde kosten integraal ophogen van de oplossingsrichting Nederland Omhoog (miljard euro).

	Kosten (euro per m <sup>3</sup> )	Volume (miljard m <sup>3</sup> ) RC-GE scenario	Kosten ophogen (miljard euro)
			<b>2015-2100</b>
Stevige grond	10	3-13	30-130
Slappe grond	30	0,7-3,2	2,1- 9,6
<b>Totaal</b>			<b>~32-140</b>

### Vergelijken van kosten

Voor de vergelijkbaarheid met jaarlijkse kosten uit andere studies zijn de kosten van verschillende oplossingsrichtingen omgezet in gemiddelde jaarlijkse kosten. In Tabel 3 wordt de methode van Vellinga (2006) aangehouden waarbij de totale niet verdisconteerde kosten worden verdeeld over het aantal jaren.

TABEL 3

Jaarlijkse niet verdisconteerde kosten van oplossingsrichtingen bij verschillende zeespiegelstijgingsscenario's voor de periode 2015-2100.

	Jaarlijkse kosten / zeespiegelstijgingsscenario			
	(2015)	24 cm (2040)	60 cm (2100)	150 cm (2100)
	(miljard euro/jaar)	(miljard euro/jaar)	(miljard euro/jaar)	(miljard euro/jaar)
Oplossingsrichting				
Cie. Vellinga (2006)	0,9		0,43	0,77
BAU (AVV, 2008)		0,25	0,33	0,62
BAU (Klijn et al. 2007)		0,08		
BAU (VenW, 1986) <sup>1)</sup>				< 1,1
Nederland Omhoog (AVV, 2008)		0,38-1,65	0,38-1,65	0,38-1,65
Randstad Veilig (AVV, 2008)		0,88	0,88	0,88
Autonoom (Klijn et al. 2007)	0,22			
Tweede Zeedijk (VenW, 1986) <sup>1)</sup>				< 2,5
Leven met Wat. (Klijn et al. 2007)		0,1		
Terugtrekken (Klijn et al. 2007)		0,05		
Terugtrekken (VenW, 1986) <sup>1)</sup>				< 0,6

<sup>1)</sup> De kosten gelden voor een zeespiegelstijging van +5 m. De kosten voor +1,5 m zeespiegelstijging zouden volgens deze studie dus lager uitvallen

Te zien is dat de jaarlijkse extra kosten voor de aanpassing aan de klimaatverandering (exclusief beheer en onderhoud) van de BAU oplossingsrichting (Sprong, 2008) 0,33 en 0,62 miljard euro/jaar zijn voor respectievelijk 60 cm en 150 cm zeespiegelstijging in een eeuw. De commissie Vellinga (2006) komt op zeer vergelijkbare getallen van 0,43 en 0,77 miljard euro/jaar (Tabel 8.15), zeker als in ogenschouw wordt genomen dat de kosten van de commissie Vellinga tevens maatregelen omvatten als gevolg van een bijstelling van de norm ter compensatie van de economische groei. De jaarlijkse kosten voor de ophoogvariant zijn een stuk hoger (0,38-1,65 miljard euro/jaar). Dat heeft te maken met het direct op +500 cm hoogte brengen van grote stukken nieuwbouw. De orde grootte van deze jaarlijkse ophoogkosten liggen echter lager dan de jaarlijkse kosten van de oplossingsrichting "tweede zeedijk" (VenW, 1986). In Tabel 4 staan de jaarlijkse investeringen wat de AVV oplossingsrichting BAU en Nederland Omhoog betekenen in termen van de netto toename in het schaderisico. Duidelijk is dat dijkverzwaring veel goedkoper is dan de ophoogvariant en dat de toename in schaderisico onder de BAU variant het minste is. De jaarlijkse kosten uitgedrukt als percentage van het BNP (2007) blijven naar verwachting beperkt tot 0,1-0,2% voor de BAU variant en 0,1-0,5% voor de variant Nederland Omhoog.



**TABEL 4**

Jaarlijkse kosten (miljard euro/jaar) voor de BAU oplossingsrichting en de oplossingsrichting Nederland Omhoog en onder verschillende zeespiegelstijgingsscenario's voor de periode 2015-2100.



Oplossingsrichting	BAU	BAU	Nederland Omhoog	Nederland Omhoog
	2100 GE, 60 cm	2100 GE, 150 cm	2100 GE, 60 cm	2100 GE, 150 cm
Jaarlijkse kosten (miljard euro /jaar)	0,33	0,62	0,38-1,65	0,38-1,65
Netto toename schaderisico <sup>1)</sup> (miljard euro/jaar)	0,41	0,6	1,0	73
Jaarlijkse kosten % BNP	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,5	0,1-0,5

<sup>1)</sup> Dit is het overstromingsrisico dat is bepaald door het schaderisico zoals bepaald in Hoofdstuk 7 met behulp van overschrijdingskansen te delen met een factor 3. Op deze wijze wordt grofweg een indicatie verkregen over het overstromingsrisico aangezien globaal gezien de overstromingskansen een factor 3 lager zijn dan de overschrijdingskansen (zie ook Klijn et al, 2007). Vervolgens is het verschil bepaald ten opzichte van het huidige schaderisico (88 miljoen/jaar). Hierdoor wordt inzicht verkregen in de verandering van het schaderisico ten opzichte van de huidige situatie.

## 1.1 Aanleiding en doel van deze studie

De Nederlandse waterbouwtechnische infrastructuur is toonaangevend in de wereld als het gaat om veiligheid tegen overstromingen. Ook bestuurlijk heeft Nederland een rijke historie die meermaals heeft bewezen dat beleidsmakers, waterbeheerders en onderzoekers gezamenlijk om kunnen gaan met extreme weersomstandigheden en overstromingsgevaar. Echter, nieuwe wetenschappelijke inzichten geven aanleiding te bekijken tot wanneer het huidige ingezette veiligheidsbeleid duurzaam bestand is tegen lange termijn klimaatveranderingen en bodemdaling (50-100 jaar) en of lange termijn investeringen “klimaatbestendig” zijn. Het gaat hierbij om zowel overstromingen vanuit de zee en grote meren, overstromingen ten gevolge van piekafvoeren op de rivieren en lokale en regionale wateroverlast in steden en polders als gevolg van extreme neerslag (Figuur 1).

Het laatste rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007) geeft aan dat het zeer waarschijnlijk is dat de mondiale temperatuurstijging in de 20<sup>e</sup> eeuw is toe te schrijven aan de toename van broeikasgassen door menselijk handelen. Het geeft aan dat de temperatuur verder zal stijgen en dat extremen in waterstanden, afvoeren en regenval kunnen toenemen. Deze inzichten zijn door het KNMI omgezet naar Nederlandse klimaatscenario's die rekening houden met regionale effecten. Wat duidelijk is, is dat de bedreigingen toenemen. Projecties voor de kustzone laten zien dat de zeespiegel tussen 1990 en 2100 met 35 tot 85 cm kan stijgen en dat piekafvoeren van rivieren met name in de winter toenemen, net als extremen in lokale neerslag (KNMI 2006, 2008).

Naast klimaatverandering is de trend in bodemdaling van groot belang voor de veiligheid van Nederland. Lokaal kan er een daling plaatsvinden door inklinking, isostatische kanteling en andere processen tot meer dan 0,6 m per 100 jaar (TNO, 2007). Dat betekent voor het te beschermen land dat bodemdaling en zeespiegelstijging voor verschillende locaties in Nederland kunnen leiden tot 1–1,5 m extra niveauverschil ten opzichte van de huidige situatie. De combinatie van de klimaateffecten en de bodemdaling leidt tot extra kwetsbaarheid ten aanzien van overstromingen.

**FIGUUR 1.1**

Wateroverlast en overstromingen  
in laag Nederland.  
[bron: Kok, 2005]



- (1) Waterschade in huis (2) Hoge grondwaterstanden (3) Overbelasting van het riool (4) Overstroming vanuit regionaal oppervlaktewater (5) Overstromen / bezwijken van regionale waterkering (6) Overstromen / bezwijken van primaire waterkering (7) Overstromen van buitendijks gebied

## Waterveiligheid en Ruimtelijke ordening

Er wordt op dit moment al veel geïnvesteerd om de kans op overstromingen te beperken. Belangrijke programma's zijn bijvoorbeeld het HoogWater BeschermingsProgramma, PKB Ruimte voor de Rivier en Zwakke Schakels aan de kust. Toch is er bij versnelde zeespiegelstijging meer nodig om ook in de toekomst klimaatbestendig te blijven. Aangezien er tot 2040 nog zeker tussen de 500.000 en 1.500.000 woningen worden gebouwd, is de centrale vraag of we de ruimtelijke ordening beter kunnen afstemmen op de ontwikkelingen in het waterbeheer en vice versa (MNP, 2007). Welke oplossingsrichting volgen we in veiligheid, welke investeringen in waterveiligheid doen we nu op de korte termijn, en welke kunnen we uitstellen?

De vraag naar innovaties in ruimtelijke ordening en waterbeheer wordt daarom steeds groter naarmate de fysieke ruimte voor veiligheidsalternatieven afneemt. Ruimte is immers schaars in Nederland en die schaarste zal de komende decennia alleen nog maar toenemen. In het onderzoek speelt daarom de ruimtelijke ordening een belangrijke rol omdat oplossingsrichtingen voor waterveiligheid nauw verweven zijn met de ruimtelijke inrichting (locatiekeuze, inrichting en bouwwijze). Denk hierbij aan oplossingsrichtingen die variëren van nieuwe drijvende woonwijken, het ophogen van wijken, nieuwe kustgebieden creëren, alternatieve evacuateroutes ontwikkelen. Maar ook het ontwerpen van hogere dijken in stedelijke gebieden kan een groot effect hebben op de ruimtelijke ontwikkeling van een gebied.

## Waterveiligheid en lange termijn onzekerheden

Niet alleen klimaatverandering maar ook andere ontwikkelingen zijn van invloed op de veiligheid tegen overstromingen. Denk hierbij aan ontwikkelingen als liberalisering en privatisering, decentralisatie van taken naar regionale overheden, de mogelijk grotere rol van private partijen, het mogelijk toenemende belang dat wordt toegekend aan publieke participatie en de rol van de burger (verzekeren en zelfredzaamheid). Studies op sociaal-economisch vlak laten zien dat Nederland rijker is geworden en daarmee in beginsel meer capaciteit heeft om zich te wapenen tegen overstromingen. Schaduwzijde is echter dat het opgebouwde kapitaal samen met de toegenomen bevolking er voor zorgt dat ook de potentiële economische schade en het potentiële aantal slachtoffers sterk is toegenomen. Genoemde ontwikkelingen vragen om beleid op het gebied van waterveiligheid dat flexibel kan omgaan met verschillende lange termijn onzekerheden en risico's. Adaptief waterbeheer en risico management zijn hierin sleutelbegrippen.

Recentelijk is ook duidelijk geworden dat de kans op grote aantallen slachtoffers door een overstroming groter is dan de kans op grote aantallen slachtoffers bij rampen bij industriële installaties, luchthavens en treinemplacementen (zie bijvoorbeeld RIVM 2004; Vellinga 2003).

## Veiligheidsketen: Ruimtelijke ordening, bescherming, rampenbestrijding

Voor de vraag hoe we kunnen omgaan met klimaatverandering zullen we met een brede visie naar waterveiligheid moeten kijken. Hierbij kan worden gedacht vanuit alle schakels van de veiligheidsketen. Wij onderscheiden de volgende drie elementen (Figuur 1.2; Aerts et al., 2007):

- **Pro-actie:** Ingrepen in de ruimtelijke ordening; Waterveiligheid is nauw verweven met bijvoorbeeld de locatiekeuze, de inrichting van een gebied en bouwwijze van objecten. Denk hierbij aan oplossingsrichtingen als nieuwe drijvende woonwijken, het ophogen van wijken en woningen, anders inrichten van woningen en bedrijven, nieuwe bouwvoorschriften, nieuwe kustgebieden creëren en klimaatbestendige infrastructuur.
- **Preventie:** bescherming tegen overstromingen. Hier gaat het om het beïnvloeden van de kans op een overstroming en om het beïnvloeden van de omvang en de gevolgen gegeven een bepaalde inrichting. Denk hierbij aan het maken van hogere en sterkere dijken in waardevolle gebieden, het concept van overstroombare dijken zodat deze niet bezwijken bij een extreme belasting, of aan het concept van compartimentering.
- **Preparatie, respons en nazorg:** Rampenbestrijding; Hierbij gaat het om de acties die nodig zijn nadat onverhoopt een overstroming plaatsvindt. Denk hierbij aan een situatie met te weinig hulpverleners en slechte weersomstandigheden maar waarbij er voor de inwoners en bedrijven toch voldoende handelingsperspectief moet zijn om maatregelen te nemen en zichzelf te beschermen. Of het creëren van vluchtmogelijkheden door ontsluiting van voldoende hoge en droge plekken in een gebied.

25

**FIGUUR 1.2**

Veiligheidsketen rondom waterveiligheid.



In dit rapport wordt ingegaan op de eerste twee elementen: “Pro-actie” en “Preventie”.

## Doel en onderzoeksvragen

Het voorgaande heeft duidelijk gemaakt dat er een maatschappelijke vraag ligt ten aanzien van lange termijn veranderingen en veiligheid.

Het doel van het project 'Aandacht voor Veiligheid' is een prototype Discussie Ondersteunend Systeem (DOS) te ontwikkelen waarmee de bestendigheid het veiligheidsbeleid voor de komende 15-20 jaar kan worden geanalyseerd tegen veranderingen op de lange termijn (50-100 jaar) zoals klimaat, bodemdaling, ruimtegebruik, demografische en bestuurlijke veranderingen. Op grond van deze analyse worden nieuwe oplossingsrichtingen ontworpen die zijn toegesneden om te gaan met deze lange termijn veranderingen.

### Onderzoeksvragen

Om het DOS te kunnen vullen met informatie zijn de volgende onderzoeksvragen geadresseerd:

- **Scenario's:** wat zijn de op langere termijn (50-100 jaar en daarna) denkbare veranderingen in klimaat, sociaal economie en ruimte in Nederland?
- **Beleid:** wat betekent het doorzetten van het huidige beleid bij deze ontwikkelingen?
- **Kwetsbaarheid:** wat zijn de effecten hiervan op de kwetsbaarheid van Nederland ten aanzien van overstromingen?
- **Oplossingsrichtingen:** welke oplossingsrichtingen kunnen we ontwikkelen om met deze veranderingen om te gaan?
- **Effectiviteit:** wat is de effectiviteit van oplossingsrichtingen?
- **Kosten:** wat zijn de kosten van oplossingsrichtingen?

In deze eerste fase van dit project stond een onderzoek naar de haalbaarheid van het doel centraal.

## 1.2 Afstemming beleid en onderzoek

Het project AVV is een gezamenlijk initiatief van de BSIK onderzoeksprogramma's Klimaat voor Ruimte en Leven met Water en het ministerie van Verkeer en Waterstaat. Grote meerwaarde van deze samenwerking is dat het waterveiligheid en klimaatvraagstuk ruimtelijk en verkennend wordt benaderd vanuit een multidisciplinaire invalshoek op het snijvlak van wetenschap en beleid.

### Doelgroep

De ambitie is om het onderzoek met betrekking tot waterveiligheid, lange termijn veranderingen en de inrichting van Nederland middels het DOS breed inzetbaar te maken. Tot de doelgroep van dit project behoren beleidsmakers en –voorbereiders, politici, adviseurs en geïnteresseerden in handelingsperspectieven als antwoord op de gevolgen van klimaatverandering voor de waterveiligheid in Nederland. Denk hierbij onder meer aan medewerkers van rijk, provincies, waterschappen en ingenieursbureaus. Op termijn kunnen ook onderwijsinstellingen tot de doelgroep worden gerekend.

## WV21

Momenteel wordt in opdracht van DG Water met het oog op de waterveiligheid ook een project uitgevoerd naar aanleiding van de discussie over veiligheidsnormering van ons land, namelijk het project WV21 (RWS/WD). Kenmerkend verschil tussen AVV en WV21 is de tijdshorizon die in beschouwing wordt genomen. WV21 richt zich (ter ondersteuning van de Nota Waterveiligheid 21<sup>ste</sup> eeuw) op de waterveiligheid op de middellange termijn (2050-2100). AVV kijkt ook naar die ontwikkelingen, maar kijkt tevens verder in de toekomst (>2100) en beschouwt extremere scenario's. In lijn daarmee zijn ook de AVV maatregelen extremer, op het gebied van zowel de waterveiligheid als de ruimtelijke ontwikkeling. Vanwege de co-financiering van AVV vanuit LmW en KvR heeft AVV ook een duidelijke wetenschappelijke component. Deltares ontwikkelt voor zowel WV21 en AVV een DOS en zorgt voor de ontwikkeling van een generiek instrument dat qua ontwerp, functionaliteit en de vulling met gegevens consistent is. De voordelen van samenwerking zijn evident: efficiënte inzet van middelen, consistentie en eenduidige informatie. Voor de vervolgfase van beide projecten is daarom afgesproken tot een DOS te komen.

## Deltacommissie

Het project levert eveneens informatie aan de zojuist in het leven geroepen Commissie Veerman. Deze commissie gaat zich buigen over de bescherming en ontwikkeling van de Nederlandse kust en het achterland op de lange termijn. De commissie onderzoekt niet alleen de te verwachten zeespiegelstijging en andere klimatologische ontwikkelingen, maar ook maatschappelijke, ecologische en economische ontwikkelingen die van belang zijn voor de fysieke inrichting van de Nederlandse kust. WV21 / AVV kan dit proces ondersteunen met uitgewerkte ruimtelijke oplossingsrichtingen en methoden.

## ARK

Ook van belang is de inbedding van AVV in het ARK-programma. De ministeries van VROM, V&W, LNV en EZ hebben het initiatief genomen een Nationaal Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat (ARK) op te zetten. Het doel van ARK is het klimaatbestendig maken van de ruimtelijke inrichting van Nederland. Gezien de grote impact van klimaat op de waterveiligheid, het grote maatschappelijke belang en de vele betrokken partners is waterveiligheid een belangrijk onderdeel van ARK. Ondersteunend aan ARK is het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat (KvK).

## 1.3 Het Discussie Ondersteunend Systeem (DOS)

De hierboven beschreven complexiteit en onzekerheden vragen om een heldere en transparante analyse. In AVV wordt daarom een zogenaamde Discussie Ondersteunend Systeem (DOS) een concept dat eerder met succes is toegepast binnen het programma Ruimte voor de Rivier ("Blokkendoos RvdR"). Binnen dit programma speelden vergelijkbare complexe problemen een rol en was er eveneens een groot aantal actoren die mee wilden denken en beslissen over de te varen koers. Er is binnen RvdR daarom een computersysteem ontwikkeld dat de ontwikkelingen, mogelijke oplossingsrichtingen en effecten op een eenvoudige wijze visualiseert. Binnen RvdR konden de actoren met de DOS zelf oplossingspakketten samenstellen en de effectiviteit hiervan evalueren. Zo is bijvoorbeeld door de provincies (onder leiding van Gelderland en Noord-Brabant) een 'Regiovisie' ontwikkeld met behulp van de Blokkendoos RvdR.

Het AVV project heeft de ambitie om samen met belanghebbenden de discussie over onze waterveiligheid aan te gaan, het effect van ontwikkelingen en maatregelen zichtbaar te maken en (veiligheids-) alternatieven te ontwikkelen. Het DOS laat aan de hand van kaarten en beelden zien hoe door middel van ruimtelijke aanpassingen Nederland kan omgaan met klimaatverandering en andere toekomstige ontwikkelingen. De combinatie van waterkennis en ruimtelijke ordening staat daarom in het DOS centraal.

De uitgangspunten voor de ontwikkeling van het DOS zijn:

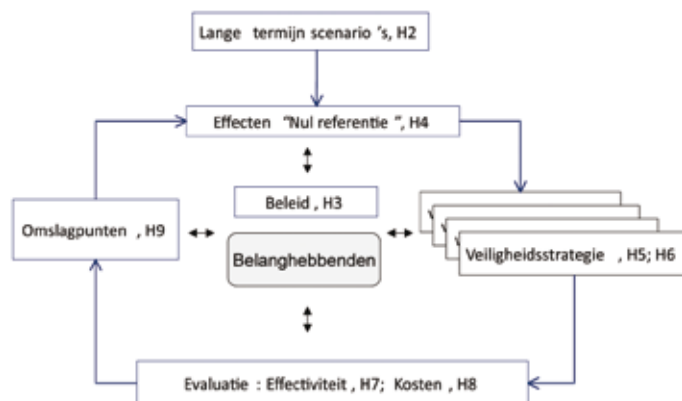
- Het systeem laat de wisselwerking tussen de ruimtelijke ordening en het watersysteem zien.
- De basis is een gemeenschappelijke database met het project WV21.
- Het moet simpel en begrijpelijk zijn voor een brede groep van gebruikers.
- Het moet snel werken.
- Het systeem maakt gebruik van (bestaande-) modelruns en is dus alleen een visualiserend en structurerend instrument.

### Structuur van het AVV project

Het AVV project volgt een zogenaamde scenarioanalyse waarin oplossingsrichtingen worden geanalyseerd en vergeleken onder aanname van verschillende lange termijn scenario's. De methode vormt eveneens de ruggengraat van het Discussie Ondersteunend Systeem (DOS) (zie Hoofdstuk 10). De AVV scenario methode is afgeleid van onderzoek op het gebied van scenario- en beleidsanalyse (Findeisen and Quade 1985, Aerts, 2002) en wordt uitvoerig beschreven in Aerts en Droogers (2004). De methode staat afgebeeld in Figuur 1.3 en heeft verschillende componenten. In de figuur is ook beschreven in welk hoofdstuk van dit rapport de componenten worden beschreven.

FIGUUR 1.3

Componenten van de aanpak van het AVV project en de verwijzing naar de beschrijvingen in de diverse hoofdstukken van dit rapport.



We beschrijven hier kort hoe de methode werkt:

Uitgangspunt:

De eindgebruikers van het DOS ("Belanghebbenden") staan centraal en doorlopen elke component van het DOS in een iteratief proces. Het uitgangspunt van de methode is het jaar 2015. Dit is het 'referentiejaar'. Er wordt ervan uitgegaan dat in dat jaar alle huidige maatregelen (Pkb RvR, Zwakke Schakels, etc) zijn uitgevoerd en dat het watersysteem op orde is. Ook de problemen met o.a "piping" zijn opgelost. Het watersysteem voldoet op dat moment aan de huidige norm.

- 1 Scenario's:** Een scenario is een combinatie van intern consistente aannames ten aanzien van toekomstige sociaal-economische en klimatologische ontwikkelingen. Scenario's worden in dit project gezien als externe variabelen en kunnen niet worden beïnvloed door gebruikers van het DOS. Denk aan zeespiegelstijging, veranderingen in de invloed van de EU op waterbeheer etc. Vaak zijn dit ontwikkelingen die een internationale dimensie hebben. Terugkoppelingsmechanismen worden niet meegenomen. De reden hiervoor is dat AVV meer extreme trends wil bekijken waarbij het meer gaat over "Stel dat een bepaald scenario in de toekomst werkelijkheid wordt, wat betekent dit dan voor waterveiligheid?". Het gaat daarbij dus niet om het meest plausibele scenario. De belangrijkste factoren voor waterveiligheid zijn:
- Stijging van zeespiegelstijging per eeuw (60-150 cm/eeuw).
  - Piekafvoeren op de grote rivieren.
  - Bevolkingsgroei.
  - Economische groei.

De getallen voor elke ontwikkeling zijn gekoppeld aan zichtjaren. In dit project zijn dat 2040, 2100 en "de verre toekomst", ofwel enkele eeuwen vooruit. Het zichtjaar 2040 is gekozen omdat dit zichtjaar ook is gebruikt binnen de WLO studie naar sociaal economische trends in Nederland (CPB et al., 2006). De in deze studie gebruikte trends worden beschreven in Hoofdstuk 2. Landgebruikveranderingen zijn overigens ook als scenario gehanteerd maar deze zijn afgeleid van de sociaal economische scenario's.



- 2 Effecten van de Nul Referentie:** Bij ieder scenario wordt bekeken wat de effecten zijn op waterveiligheid wanneer er geen extra maatregelen worden getroffen ten opzichte van het basisjaar 2015. Dit is de “Nul Referentie”. Hiervoor worden indicatoren gebruikt. Denk hierbij aan “potentiële schade als gevolg van een overstroming”, “de kans op een overstroming”, etc. De effecten onder het de Nul Referentie worden weergegeven met (1) score kaarten (een tabel met indicatoren) en (2) ruimtelijke kaarten. Elke indicator wordt zowel op dijkkringniveau uitgerekend als op een geaggregeerd niveau voor heel Nederland. De effecten van het de Nul Referentie worden beschreven in Hoofdstuk 4.
- 3 Oplossingsrichtingen:** Een oplossingsrichting is een set van maatregelen die een logische samenhang hebben. In Hoofdstuk 5 worden bestaande oplossingsrichtingen beschreven en in Hoofdstuk 6 staan oplossingsrichtingen die in dit project zijn ontwikkeld.
- 4 Evaluatie van een oplossingsrichting:** Om te bekijken of een gekozen oplossingsrichtingen ook effectief is, worden dezelfde criteria gebruik als bij de Nul Referentie. Op deze manier wordt bekeken in hoeverre de nieuwe oplossingsrichting iets oplevert ten opzichte van “Nul Referentie”. In een volledige evaluatie worden ook de kosten van de verschillende oplossingsrichtingen in kaart gebracht. Op basis hiervan kan dan een Maatschappelijke Kosten Baten afweging worden gemaakt. Ook wordt vaak gebruikt gemaakt van multi-criteria analyse (MCA), wanneer er indicatoren worden gebruikt die niet gemakkelijk in monetaire eenheden kunnen worden uitgedrukt. In deze fase van het project is geen Maatschappelijk Kosten-Baten Analyse (MKBA) uitgevoerd en er is dus geen volledige evaluatie van oplossingsrichtingen gemaakt. Wel zijn de kosten van oplossingsrichtingen bepaald en ook de belangrijkste baten. De effectiviteit van de AVV oplossingsrichtingen staat beschreven in Hoofdstuk 6. De kosten in Hoofdstuk 7.
- 5 Omslagpunten:** Met deze methode worden zogenaamde omslagpunten voor beleid en investeringen bepaald. Met behulp van deze punten kan worden bepaald wanneer een bepaald beleid houdbaar is onder aanname van verschillende snelheden van klimaatverandering. Er is wordt in Hoofdstuk 9 een illustratie gegeven hoe om te gaan met omslagpunten, maar er is verder nog geen terugkoppeling gemaakt met de andere hoofdstukken over kosten van oplossingsrichtingen.

## Waterveiligheid en lange termijn veranderingen

We kunnen ons nauwelijks voorstellen hoe de wereld er in 2100 uit ziet. De komende decennia zullen veel veranderingen plaatsvinden waar we nu nog nauwelijks of geen zicht op hebben. Niet alleen klimaatverandering maar ook andere ontwikkelingen kunnen van invloed zijn op de veiligheid tegen overstromingen. Denk hierbij aan ontwikkelingen als liberalisering en privatisering, de rol van de EU, decentralisatie van taken naar regionale overheden, de mogelijk grotere rol van private partijen, het mogelijk toenemende belang dat wordt toegekend aan publieke participatie en de rol van de burger (verzekeren en zelfredzaamheid). Verder blijven naast het gebruik van de ruimte, de wijze waarop de economie zich zal ontwikkelen en de demografische ontwikkeling dominante factoren voor het veiligheidsbeleid.

De toekomst, zeker als we het hebben over een termijn van 50, 100 jaar of meer, is omgeven met grote onzekerheid. Omdat zowel de verschijningsvorm van de toekomst als de dynamiek van de verandering die daaraan ten grondslag ligt grotendeels onbekend zijn, is het niet mogelijk om de toekomst te voorspellen. Wat we wel kunnen, is het doen van “Wat als” experimenten en analytische oefeningen, waarin we reflecteren en speculeren op hoe de toekomst er uit zou kunnen zien.

Een manier om met verschillende ontwikkelingen en onzekerheden om te gaan is een scenarioanalyse. Een scenarioanalyse geeft geen antwoord op de vraag wat de meest waarschijnlijke ontwikkelingen zijn, maar biedt inzicht in mogelijke, van het heden afwijkende, toekomstbeelden. Door verschillende adaptatieoplossingsrichtingen te confronteren met verschillende, uiteenlopende toekomstbeelden kan inzicht worden verkregen in de robuustheid en houdbaarheid van die oplossingsrichtingen. Het testen van oplossingsrichtingen onder verschillende toekomsten maakt niet alleen zichtbaar waar de kwetsbaarheden van huidige of voorgenomen oplossingsrichtingen zitten, maar geeft ook aanwijzingen voor hoe huidige of voorgenomen oplossingsrichtingen kunnen worden aangepast en/of beter vorm kunnen worden gegeven.

Binnen het project Aandacht voor Veiligheid is gekeken naar twee toekomstige ontwikkelingen die van grote invloed zijn op huidige en toekomstige waterveiligheid in Nederland:

- Sociaal-economische ontwikkelingen
- Ontwikkelingen m.b.t. het klimaat

Voor elk van deze ontwikkelingen is eerst geïnventariseerd welke scenario's voorhanden zijn. Daarna is bekeken of de scenario's geschikt zijn om oplossingsrichtingen te evalueren waarbij de volgende punten van belang zijn:

- 1 Het basisjaar is 2015. Bij dit vertrekpunt wordt verondersteld dat het watersysteem op orde is, de PKB RvR is uitgevoerd, de Zwakke Schakels zijn versterkt en de Maaswerken zijn uitgevoerd. Bovendien wordt verondersteld dat de problemen met onder andere piping zijn opgelost en dat alle keringen op orde zijn en voldoen aan de huidige normering. De getallen voor klimaatverandering zijn echter t.o.v. het klimaat rond 1990 (1976-2005).
- 2 De zichtjaren daarna zijn de jaren 2040 en 2100 en in het geval van zeespiegelstijging zelfs enkele eeuwen daarna.
- 3 Zijn de scenario's extreem genoeg om de kwetsbaarheden van mogelijke adaptatieoplossingsrichtingen bloot te leggen.

Bij het gebruik van scenario's in deze studie richten we ons niet zo zeer op de waarschijnlijke range, maar omdat we willen kijken naar de kwetsbaarheid van Nederland, hebben we ons vooral gericht op de wat extremere (en minder waarschijnlijke) scenario's. Tijdens het verkennen van toekomstige ontwikkelingen hebben wij steeds getracht de extremen op te zoeken met zoveel mogelijk door experts aangegeven bandbreedten (Zie ook Annex 2 en 5).

## 2.1 Klimaatscenario's

Het uitgangspunt voor het gebruik van klimaatscenario's binnen het project Aandacht Voor Veiligheid zijn de KNMI (2006) scenario's, ook wel KNMI'06 scenario's genoemd. Aangezien AVV ook naar meer extremere klimaatscenario's wil kijken heeft het KNMI een inventarisatie gemaakt van wat de huidige wetenschappelijke literatuur zegt over het voorkomen van deze extremen voor de regio Noordwest Europa en meer in het bijzonder Nederland. De resultaten van deze literatuurstudie staan vermeld in het rapport KNMI (2008) en zijn nadrukkelijk níet bedoeld als voorspelling of als alternatief voor de KNMI'06 scenario's. De getallen dienen slechts gebruikt te worden voor verkenningen van de robuustheid van oplossingsrichtingen. De volgende klimaatextremen en hun eventueel voorkomen zijn bestudeerd in KNMI (2008).

- Extreme zeespiegelstijging als gevolg van het versneld afsmelten/afkalven van Groenland en West Antarctica;
- Stilvallen van de Warme Golfstroom;
- Superstormen;
- Extreme neerslag;
- Extreme afvoeren van Rijn en Maas.

## De KNMI '06 scenario's

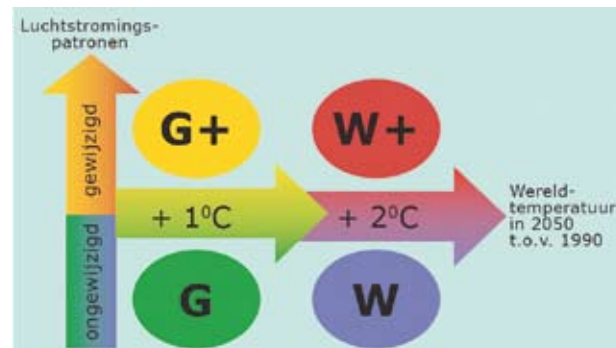
Eind mei 2006 heeft het KNMI nieuwe regionale klimaatscenario's voor Nederland en omgeving gepresenteerd (zie Figuur 2.1 en Tabel 2.1). Deze zijn het vervolg op de zogenaamde WB21 scenario's (Tielrooij, 2001). Doel van de KNMI'06 scenario's was onder andere om de onzekerheid over ons toekomstig klimaat in kaart te brengen. De onzekerheden over ons toekomstig klimaat worden onderverdeeld in twee grote groepen:

- Onzekerheden over de toekomstige bevolkingsgroei en de economische, technologische en sociale ontwikkelingen, en de daarmee samenhangende uitstoot van broeikasgassen en stofdeeltjes;
- Onzekerheden veroorzaakt doordat we de complexe processen in het klimaatsysteem nog maar ten dele begrijpen.

Om met deze onzekerheden om te gaan, heeft het KNMI vier scenario's voor 2050 geconstrueerd (Figuur 2.1) die een evenwichtig beeld geven van de brede waaier van mogelijke toekomsten. Deze scenario's zijn stuk voor stuk aannemelijk, en samen spannen ze een groot deel van de range op die in de geanalyseerde klimaatmodellen wordt getoond. Daarbij is de nadruk gelegd op die variabelen die voor het beleid het meest relevant zijn. Voor die situaties wordt een zo compleet mogelijk beeld geschetst van ons mogelijke toekomstige klimaat.

**FIGUUR 2.1**

Schematisch overzicht van de vier KNMI'06 klimaatscenario's. Zie onderstaande legenda in tabel 2.1 voor een toelichting.



De KNMI'06 klimaatscenario's beschrijven geen abrupte klimaatveranderingen. Klimaatmodellen vertonen voor deze aspecten nog grote tekortkomingen door onvoldoende wetenschappelijke kennis over deze fenomenen. Bovendien zijn de aanwijzingen voor snelle veranderingen in de waarnemingen erg onzeker. De scenario's omvatten eveneens geen fenomenen waarvan onzeker is of ze realistisch zijn. De scenario's bevatten echter niet de meest extreme denkbare situaties die kunnen optreden. De redenen waarom deze extremen zeer verschillend van aard zijn en de redenen waarom ze niet zijn opgenomen in de KNMI'06 scenario's zijn dan ook zeer uiteenlopend. Literatuur onderzoek van het KNMI (2008) over klimaatextremen laat het volgende zien:

- **Extreme zeespiegelstijging als gevolg van versneld afsmelten/afkalven van grote ijskappen en het stilvallen van de Warme Golfstroom:** klimaatmodellen vertonen voor deze aspecten nog grote tekortkomingen door onvoldoende wetenschappelijke kennis over deze fenomenen. Bovendien zijn de aanwijzingen voor snelle veranderingen in de waarnemingen erg onzeker. Het is dus bekend dat deze processen kunnen optreden, maar kwantificeren en modelleren is nog moeilijk;

- **Superstormen:** het is onbekend of deze in de buurt van Nederland kunnen voorkomen;
- **Extreme zomerneerslag aan de kust:** de regionale klimaatmodellen die gebruikt zijn voor de KNMI'06 scenario's hadden een te lage ruimtelijke resolutie om onderscheid te kunnen maken tussen de kustzone en de gebieden meer landinwaarts. Bovendien werd in deze modellen de zeewatertemperatuur niet gemodelleerd maar voorgeschreven, waardoor de invloed van de temperatuur van het Noordzeewater niet goed kon worden gesimuleerd;
- **Extreme rivierafvoeren:** de herhalingstijden die gebruikt worden als maatgevend bij rivierafvoeren worden niet expliciet genoemd in de KNMI'06 scenario's. De beschikbare hoeveelheid aan gegevens van klimaatmodellen zijn niet voldoende om over dergelijke lange herhalingstijden goed onderbouwde uitspraken te doen. Echter, de in dit rapport genoemde rivierafvoeren zijn wel consistent met de KNMI'06 scenario's.

**TABEL 2.1**

Legenda voor de KNMI'06 klimaatscenario's en een vergelijking met de WB21 scenario's (gegevens voor het klimaat rond 2050 ten opzichte van het klimaat rond 1990, ofwel de periode 1976-2005).

34

	WB21			KNMI'06			
	Laag	Centraal	Hoog	G	G+	W	W+
<b>Zomer (juni, juli, augustus)</b>							
Gemiddelde temperatuur (°C)	+0.5	+1	+2	+0.9	+1.4	+1.7	+2.8
Warmste zomerdag (°C)				+1.0	+1.9	+2.1	+3.8
Gemiddelde neerslag (%)	+0.5	+1	+2	+3	-10	+6	-19
Aantal natte dagen (%)				-2	-10	-3	-19
Dagsom neerslag die gemiddeld eens in de 10 jaar wordt overschreden (%)	+5	+10	+20	+13	+5	+27	+10
Potentiële verdamping (%) (WB21 op jaarbasis)	+2	+4	+8	+3	+8	+7	+15
Zeespiegelstijging (cm)	+10	+25	+45	15-25	15-25	20-35	20-35
<b>Winter (december, januari, februari)</b>							
Gemiddelde temperatuur (°C)	+0.5	+1	+2	+0.9	+1.1	+1.8	+2.3
Koudste winterdag (°C)				+1.0	+1.5	+2.1	+2.9
Gemiddelde neerslag (%)	+3	+6	+12	+4	+7	+7	+14
Aantal natte dagen (%)				0	+1	0	+2
10-daagse neerslagsom die gemiddeld eens in de 10 jaar wordt overschreden (%)	+5	+10	+20	+4	+6	+8	+12
Hoogste daggemiddelde windsnelheid per jaar (%)				0	+1	0	+2
Zeespiegelstijging (cm)	+10	+25	+45	15-25	15-25	20-35	20-35

## Extreme zeespiegelstijging

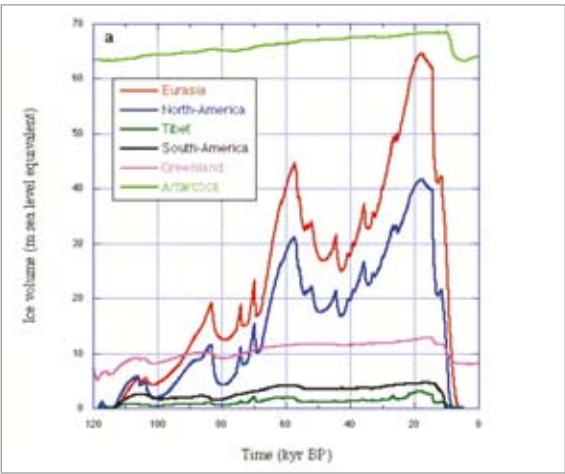
Het mogelijk versneld afsmelten en/of afkalven van grote ijskappen kan leiden tot een snellere zeespiegelstijging dan vermeld in de KNMI'06 scenario's (Tabel 2.2; ook KNMI'06 gaat al uit van versnelling van afsmelten), en als gevolg daarvan tot een toename van de kans op overstroming vanuit zee als er niet tijdig maatregelen worden genomen. Reconstructies van het zeeniveau in een historisch tijdperk rond circa 120.000 jaar geleden, het Eemian (wat betreft wereldgemiddelde temperatuur vergelijkbaar met het huidige klimaat), laten zien dat in dat tijdvak de maximale stijging van de zeespiegel ongeveer 1 tot 1,5 m per eeuw bedroeg (Figuur 2.2 IPCC, 2007).

**TABEL 2.2** →  
KNMI'06 klimaatscenario's voor zeespiegelstijging voor 2100 ten opzichte van 1990 (Van den Hurk et al., 2006).

Scenario (jaar)	Wereldgemiddelde temperatuursverandering	Zeespiegelstijging
Gematigd (2100)	+2 °C	35-60 cm
Warm (2100)	+4 °C	40-85 cm

De meest onzekere component en ook de component met het meeste potentieel voor extreme zeespiegelstijging is de bijdrage van de ijskappen op Groenland en West Antarctica. De Groenlandse ijskap bevat genoeg ijs om de zeespiegel wereldwijd met ongeveer 7 m te laten stijgen. Het ijsvolume op Antarctica is voldoende voor ruim 60 m stijging. Het grootste gedeelte ervan (de Oost-Antarctische ijskap) wordt vanwege zijn geografische ligging zeer stabiel geacht en zal niet door afkalving in zee bijdragen aan toekomstige zeespiegelstijging. De West-Antarctische ijskap is mogelijk minder stabiel doordat de landmassa waarop de ijskap ligt zich onder zeeniveau bevindt. Dit deel van Antarctica zou door afkalven bij kunnen dragen aan zeespiegelstijging. De West-Antarctische ijskap bevat genoeg ijs voor een wereldwijde zeespiegelstijging van ongeveer 4 tot 6 m (Vaughan, 2008).

**FIGUUR 2.2** →  
Variaties in ijsvolume (= ice volume, verticaal aangegeven) vanaf 120.000 jaar geleden (=120 kyr BP) tot nu, berekend met een dynamisch model van de ijskappen, uitgedrukt in het equivalent van meters wereldwijd zeespiegelniveau: rond 20 kyr BP was het zeeniveau veel lager, omdat er veel meer ijs in Eurazië en Noord-Amerika lag (overgenomen uit Bintanja et al., 2002).



Modellen van de ijskappen geven aan dat de Groenlandse ijskap in een warmer klimaat blijft slinken. Bij een gematigde stijging van de temperatuur zal deze ijskap vrijwel geheel verdwijnen in enkele duizenden jaren (Ridley et al., 2005; zie ook IPCC, 2007, 4AR Figuur 10.38). De Antarctische ijskap blijft volgens IPCC klimaatmodelprojecties zó koud dat het oppervlak nauwelijks zal gaan smelten. De modelstudies laten een toename van de sneeuwval over de ijskap zien. De modellen geven aan dat daardoor de Antarctische ijskap de komende eeuwen zal groeien.

De laatste jaren is bij beide ijskappen echter een toename van de afkalving aan de randen waargenomen (zie IPCC, 2007, H4.6 voor een overzicht). Deze waarnemingen hebben een belangrijke beperking van de huidige ijskapmodellen blootgelegd: de processen die deze toename kunnen veroorzaken ontbreken nog in de modellen waarmee het gedrag van de ijskappen in de toekomst wordt berekend.

De relatieve invloed van het afsmelten Groenland en Antarctica op de zeespiegelstijging is echter niet gelijkmatig over de aarde verdeeld als gevolg van het gravitatie-effect.

Door de zwaartekracht wordt zeewater aangetrokken door een op het land liggende (grote) ijsmassa. Als deze ijsmassa smelt wordt de aantrekkingskracht geringer. Nederland ligt in het gebied waar de lokale zeespiegelstijging door het afsmelten van Groenland minder zal zijn dan de zeespiegelstijging die bij een gelijkmatige verdeling van smeltwater over de aarde zou plaatsvinden. Voor de Antarctische ijskap geldt het omgekeerde. Daarom wordt de bijdrage van de ijskappen aan de stijging van de zeespiegel in cm vermenigvuldigd met een gravitatie factor H. Deze is  $H=0,25$  voor de bijdrage van Groenland en  $H=1,1$  voor West-Antarctica (Figuur 2.3). Ook deze lokale bijdragen staan in Tabel 2.3.

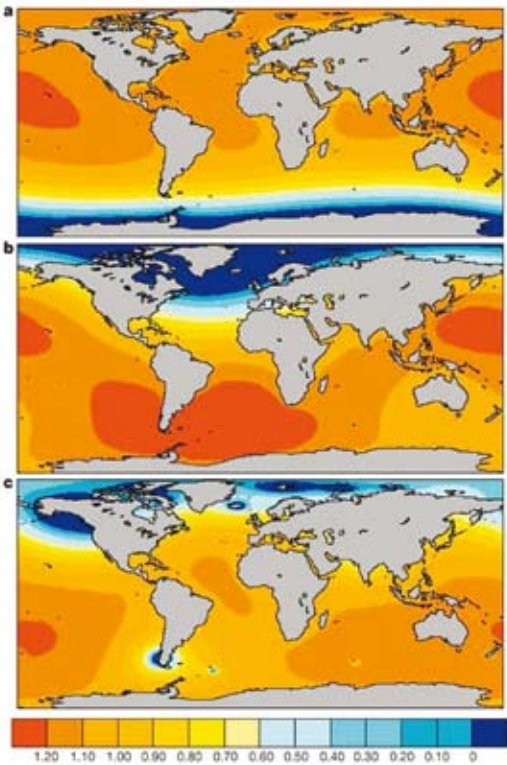
**TABEL 2.3** →  
Schatting van de bijdragen aan de lokale zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust op de verre toekomst (voor een zichttermijn van 1000 jaar vooruit, ten opzichte van 2000; getallen afgerond op 5 cm).

	Minimaal	Maximaal	Gemiddeld	Referentie
Thermische Uitzetting	0,5 m	4,0 m	2,25 m	Geen regionale informatie
Groenland	0,05 m	0,95 m	0,5 m	$H=0,25$ , Mitrovica et al., 2001
West-Antarctica	0,2 m	5,25 m	2,7 m	$H=1,1$ , Mitrovica et al., 2001
Som*	2,35 m	8,65 m	5,50 m	

\* Lokale som wordt verkregen door kwadratisch optellen (Van den Hurk, 2006, par. 7.8)

Wanneer de bijdragen van de verschillende ijsmassa's worden opgeteld en er rekening wordt gehouden met het gravitatie-effect bedraagt de schatting voor de gemiddelde lokale zeespiegelstijging in onze regio in het jaar 3000 gemiddeld 5,5 m ten opzichte van 2000, met een bandbreedte tussen de ruim 2 en bijna 9 m. Voor de maximale zeespiegelstijging geeft dit ruwweg dezelfde ordegrootte als de 1 tot 1,5 m per eeuw die op basis van reconstructies met paleo-proxy data was gevonden. Vanwege het gravitatie-effect geeft afkalving van West-Antarctica potentieel de grootste bijdrage aan de zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust.

**FIGUUR 2.3** →  
Gravitatie factor H (ratio van de lokaal optredende zeespiegelstijging en de eustatische zeespiegelstijging) berekend voor massaverlies van de ijskap van (a) Antarctica, (b) Groenland en (c) van de belangrijkste gletsjers (overgenomen uit Mitrovica et al 2001).



De KNMI'06 scenario's geven voor de tweede helft van de 21<sup>e</sup> eeuw een bovengrens van 50 cm zeespiegelstijging in 50 jaar (ofwel een snelheid van 1 m per eeuw). Verkenningen van de zeespiegelstijging voor de 22<sup>e</sup> eeuw geven aan dat het tempo in die periode nog kan versnellen tot een bovengrens van ongeveer 1,5 m per eeuw. Schattingen voor deze zichttermijn zijn echter zeer onzeker vanwege het gebrek aan kennis over het (mogelijk niet-lineaire) gedrag van ijskappen op Groenland en Antarctica (bijv. Thomas et al., 2004; Velicogna & Wahr, 2006; Vaughan, 2008).

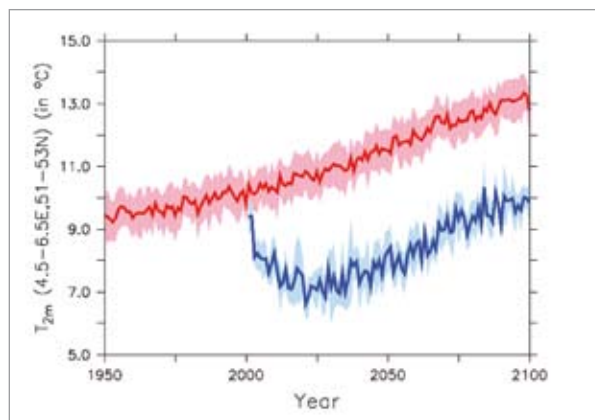
## Stilvallen van de Warme Golfstroom

Door de aanwezigheid van de Thermo Haline Circulatie (ook wel de Warme Golfstroom genoemd) is het huidige klimaat in Nederland ongeveer 3 tot 5 °C warmer dan zonder deze stroming het geval zou zijn. Er wordt vermoed dat in het verleden sterke pulsen van zoet smeltwater uit grote binnenmeren geleid hebben tot afname van dichtheid van het oceaanwater in de noordelijke zeeën. Dit zou dan hebben geresulteerd hebben in een sterke afname van de Warme Golfstroom, met als gevolg een sterke afkoeling op het Noordelijke Halfrond binnen enkele tientallen jaren. Momenteel is de totale omvang van smeltwater van de ijskappen te klein om zo'n sterke zoetwaterpuls te kunnen geven.

In projecties met de huidige generatie mondiale klimaatmodellen neemt de Warme Golfstroom gemiddeld met 25% af tot het einde van deze eeuw. In geen van de modellen valt de Warme Golfstroom volledig stil. Het stilvallen van de Warme Golfstroom in de 21<sup>ste</sup> eeuw wordt op basis van de huidige modelresultaten niet waarschijnlijk geacht. De kans hierop wordt wel groter geacht bij toenemende wereldwijde opwarming (IPCC, 2007). Mocht de Warme Golfstroom toch stilvallen dan blijkt het netto resultaat van dit stilvallen en de opwarming als gevolg van een toename in de broeikasgasconcentraties voor Nederland rond 2100 een beperkte temperatuurstijging te zijn, maar geen temperatuurdaling. Wanneer de Warme Golfstroom snel stil zou vallen (binnen deze eeuw) kan er tijdelijk wel een temperatuurdaling optreden ten opzichte van het huidige klimaat. Dat is te zien in Figuur 2.4.

**FIGUUR 2.4**

Temperatuur in Nederland ( $T_{2m}$ ) in een ensemble van klimaatmodelberekeningen van 1950 tot 2100. De geobserveerde broeikasgas concentraties zijn gebruikt tot 2000, daarna is het SRESA1b scenario gevolgd (rood). De dikke rode lijn is het ensemble gemiddelde, de band geeft de spreiding aan door interne klimaatvariëaties. De blauwe lijn geeft hetzelfde experiment aan, maar dan met een snel afzwakkende Warme Golfstroom vanaf het jaar 2000 (zie tekst). Initieel geeft dat een afkoeling en uiteindelijk wordt het versterkte broeikaseffect gecompenseerd. Op langere termijn zet de opwarming door.



Het stilvallen van de golfstroom heeft ook invloed op het zeeniveau. De stijging van het zeeniveau in de Noord Atlantische regio bij een volledig stilvallen van de Warme Golfstroom is ongeveer 50 cm (waarvan ongeveer 15 cm nu al is opgenomen in de bovengrens van de zeespiegelstijging in de KNMI'06 scenario's voor 2100).



## Superstormen

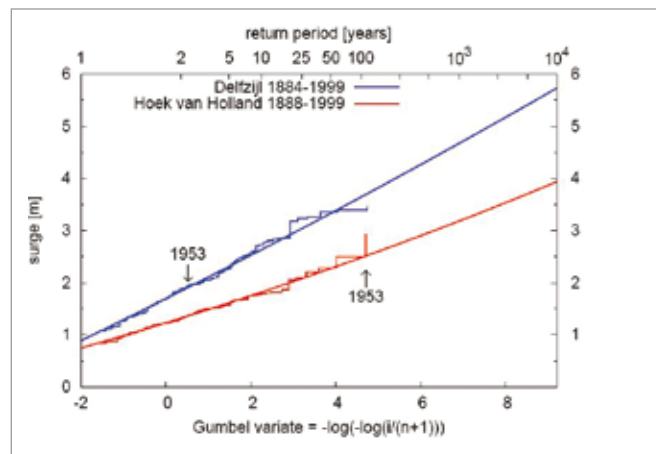
Het ontwerp van de kustverdediging wordt vooral bepaald door het windklimaat, aangezien de wind zorgt voor golven en extra wateropstuwing bij stormen, bovenop het astronomisch getij. Voor het ontwerp van bijvoorbeeld de kustverdediging van Zuid- en Noord-Holland worden als maatgevende condities gebeurtenissen gebruikt die een jaarlijkse kans hebben van 1/10.000. Deze maatgevende condities worden nu geschat op basis van ruim 100 jaar aan waarnemingen. De impact van stormen hangt niet alleen af van de windsterkte, maar ook van de windrichting en de snelheid waarmee een storm voorbij ons land trekt.

Getijden zijn cyclisch en goeddeels deterministisch te beschrijven, maar dat geldt niet voor wateropzet door wind. Dit betekent dat wateropzet door storm op een statistische manier geanalyseerd moet worden. De beschikbare tijdreeksen met waarnemingen zijn echter vrij kort (ongeveer 100 jaar). Daarom gebruiken we klimaatmodellen om extra "synthetische waarnemingen" te genereren. De gegevens over wind worden vervolgens omgezet in gegevens over wateropzet (voor methode zie Van den Brink, 2005). Van de gemeten waarden over 100 jaar kan een zogenaamd Gumbel-plot worden gemaakt.

Ongeveer 100 jaar met waarnemingen over wateropzet door wind zijn beschikbaar. De jaarmaxima worden gebruikt bij analyses naar extremen. Er wordt verondersteld dat deze extremen de Generalized Extreme Value (GEV) verdeling volgen (Jenkinson, 1955). Als de vormparameter van deze functie 0 is, geeft dit een rechte lijn en wordt de verdeling een Gumbel-verdeling genoemd. Een voorbeeld van zo'n Gumbel-plot wordt gegeven in Figuur 2.5, waar de jaarmaxima voor wateropzet bij Hoek van Holland en Delfzijl worden gegeven. De figuur laat zien dat de waarnemingen goed beschreven kunnen worden met een rechte lijn, met andere woorden de extreme wateropzet kan goed beschreven worden met een Gumbel verdeling. Op basis van een extrapolatie van de waarnemingen, wordt de wateropzet die bij Hoek van Holland gemiddeld eens in de 10.000 jaar voorkomt dan geschat op ongeveer 4 m, en bij Delfzijl op ruim 5,5 m.

**FIGUUR 2.5**

Gumbel-plot voor de jaarlijkse maximale wateropzet door wind bij Hoek van Holland en Delfzijl. De bovenste horizontale as geeft de bijbehorende herhalingstijden in jaren.

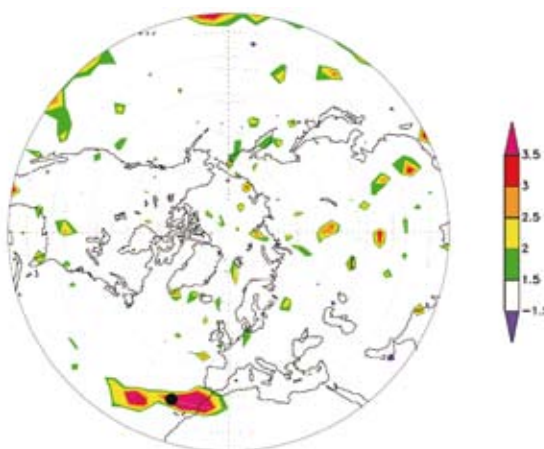


Sommige klimaatmodellen laten gebieden zien waar de meest extreme windsnelheden, met herhalingstijden van 100 jaar óf langer hoger zijn dan op basis van de hierboven gebruikte extrapolatie van minder extreme stormen wordt verwacht. Zulke extreme stormen, waarvan de sterkte en herhalingstijd niet kunnen worden afgeleid op basis van een extrapolatie van waargenomen minder extreme stormen, worden in de AVV-deelstudie van het KNMI (2008) "superstormen" genoemd. Als deze superstormen ook in de omgeving van Nederland optreden, dan worden de gemiddeld eens per 10.000 jaar windsnelheden en wateropzetten mogelijk onderschat. Met behulp van simulaties van een klimaatmodel is een zeer lange reeks gegenereerd (voor de toekomst A1b emissie-scenario). Op deze lange reeks gegevens is een methode toegepast om te analyseren waar superstormen mogelijk kunnen voorkomen (zie KNMI 2008). Dat is te zien in Figuur 2.6. Met behulp van simulaties van een klimaatmodel is een reeks van 1000 jaar gegenereerd onder het A1b klimaatscenario's met relatief hoge broeikasemissies. Op deze lange reeks gegevens is een methode toegepast om te analyseren waar superstormen mogelijk kunnen voorkomen in de toekomst (zie KNMI 2008). Dat is te zien in Figuur 2.6.

**FIGUUR 2.6**



Het voorkomen van superstormen uitgedrukt in de zogenaamde signaal-ruis verhouding (Zie KNMI, 2008 voor meer uitleg). Waarden groter dan twee wijzen op het bestaan van superstormen. Het grootste gebied met een hoge signaal-ruis verhouding ligt ten zuidwesten van Spanje en is gemarkeerd met een zwarte stip.



Uit de analyse van bovenstaand figuur en een analyses van uitkomsten van mondiale klimaatmodellen blijkt dat er geen aanwijzingen zijn dat er in het huidige klimaat in het gebied rond Nederland superstormen kunnen voorkomen. De condities met een herhalingstijd van gemiddeld eens in de 10.000 jaar kunnen dus geschat worden uit de waarnemingen.

De beschikbare analyses van mondiale klimaatmodellen laten geen veranderingen zien als gevolg van klimaatverandering van de extreme wind uit het noordwesten, die voor de meeste wateropzet zorgt. De analyses met betrekking tot verandering in wateropzet langs de Nederlandse kust laten daarom ook relatief kleine effecten zien. De jaar-op-jaar variatie in maximale wind en wateropzet in het huidige klimaat is groot vergeleken met de mogelijke gevolgen van klimaatverandering op extreme wind en wateropzet.

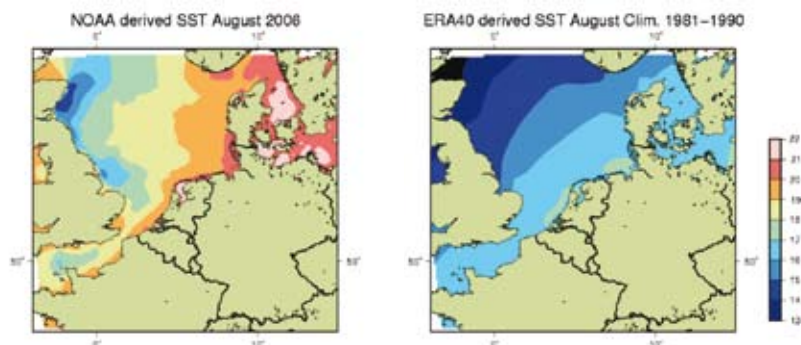
## Extreme neerslag

Augustus 2006 was extreem nat, met name in de kuststrook. Vergeleken met gebieden die verder landinwaarts liggen (meer dan 100 km van de kust) waren de maandsommen en de extreme dagsommen in de kuststrook (minder dan 30 km van de kust) ongeveer

30% hoger. Analyses met een regionaal klimaatmodel laten zien dat 160 mm van de gemiddelde neerslag van de 210 mm die in augustus 2006 is gevallen in de kuststrook samenhangt met de specifieke luchtstroming in die maand. De overige 50 mm lijken te zijn veroorzaakt door de relatief hoge watertemperaturen in de Noordzee als gevolg van de voorafgaande warme juli-maand. Dat is goed te zien in Figuur 2.7 waarin de zeewatertemperatuur in augustus 2006 is vergeleken met de langjarige zeewatertemperatuur in augustus. Figuur 2.8 laat zien dat in een modelsimulatie voor augustus 2006 de hoeveelheid neerslag alleen kan worden gesimuleerd bij de hoge waargenomen zeewatertemperaturen die toen heersten en niet met de gemiddelde zeewater temperatuur over de periode 1981-1990.

**FIGUUR 2.7**

Gemeten zeewatertemperaturen, afgeleid van NOAA satelliet-metingen voor augustus 2006 (links), en gemiddelde zeewater-temperaturen voor augustus voor de periode 1981-1990 gebaseerd op ERA40 (rechts). De temperatuurgradiënt voor de Nederlandse kust is in de linker figuur sterker.

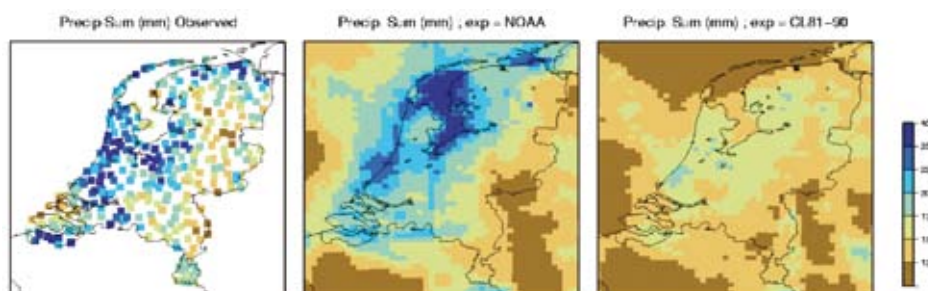


In de afgelopen 55 jaar is de Noordzeetemperatuur in de zomer ongeveer 1,2-1,5 °C gestegen (KNMI, 2008). In de kuststrook is daardoor waarschijnlijk de neerslag in de zomer gemiddeld sterker toegenomen dan meer landinwaarts. Modelsimulaties en waarnemingen voor augustus 2006 laten voor de maandsommen en de extreme dagsommen in de kuststrook (minder dan 30 km uit de kust) ongeveer 30% meer neerslag zien. Lokale extremen in de kustregio in augustus 2006 laten dezelfde relatie met de Noordzeetemperatuur zien.

De KNMI'06 scenario's bevatten geen ruimtelijke differentiatie in klimaatverandering tussen de kustregio's en de regio's landinwaarts. Deze differentiatie was niet mogelijk omdat de ruimtelijke resolutie van de gebruikte klimaatmodellen niet hoog genoeg was. De temperatuurafhankelijkheden voor extreme neerslag in de zomer in de waarnemingen zijn echter consistent met de meegenomen relaties in de G en W scenario's (+12 tot +14% per °C). De gebruikte temperatuurafhankelijkheden voor extreme zomerneerslag in de G+ en W+ scenario's lijken te laag voor de kustregio's. Daardoor zou de kans op wateroverlast in de kustregio's onder de G+ en W+ scenario's onderschat kunnen worden.

**FIGUUR 2.8**

Waargenomen neerslaghoeveelheden (in mm) in augustus 2006 (links), en gemodelleerde neerslaghoeveelheden voor augustus 2006 in het experiment met waargenomen zeewater-temperaturen (NOAA, midden), en met lage zeewatertemperaturen (CL81-90; rechts).



## Extreme afvoeren van Rijn en Maas

Zowel de WB21 als de KNMI'06 scenario's gaan voor West Europa uit van een toename van de extreme neerslag in de winter, en als gevolg daarvan van een toename van de extreme rivierafvoeren. Dit heeft tot gevolg dat de kans op overstromingen vanuit de rivieren toeneemt bij de huidige inrichting van de overstromingsvlakte. De maatgevende afvoer voor rivierdijken wordt bepaald met behulp van de potentiële afvoer die gemiddeld eens per 1250 jaar kan optreden ( $Q_{1250}$ ).

Het onderzoek naar de invloed van klimaatverandering op het afvoerregime van Rijn en Maas dat de afgelopen jaren is uitgevoerd, laat zien dat de extreem hoge winterafvoer toeneemt en dat, vooral voor de Rijn, de laagste afvoeren in de zomer afnemen. De bandbreedte bij de schatting van  $Q_{1250}$  in een verre toekomst is groot (tabel 2.4). Naast onzekerheden in de gebruikte klimaatscenario's en de gebruikte hydrologische modellen kunnen bovenstroomse maatregelen het huidige "fysisch" maximum van ongeveer 16.500 m<sup>3</sup>/s instroom bij Lobith sterk beïnvloeden. In de huidige situatie zullen extreme afvoeren (hogere dan nu gemeten) door overstromingen in Duitsland worden afgevlakt.

Het Rapport "Rijn kent geen grenzen" (AG, 2007) stelt hierover het volgende: "Volgens de berekeningen kan in een bepaalde periode in het Rijnstroomgebied zoveel regen vallen dat – zonder rekening te houden met de dijkoverstromingen die dan op de Ober- en Niederrhein optreden – de Rijn bij Andernach een piekafvoer te verwerken zou kunnen krijgen van 17.800 m<sup>3</sup>/s en bij Lobith 18.700 m<sup>3</sup>/s. Wanneer de overstromingen op de Ober- en Niederrhein meegerekend worden, is bij Andernach nog een hoogste piek te verwachten van ongeveer 15.300 m<sup>3</sup>/s en bij Lobith een piek tot zo'n 15.500 m<sup>3</sup>/s". En verder wordt beschreven dat "Nog hogere afvoeren uit het stroomgebied zijn dus niet onmogelijk". Om een inschatting te maken van de gevolgen daarvan, zijn berekeningen uitgevoerd met een afvoergolf bij Andernach van 17800 m<sup>3</sup>/s. Overstromingen komen dan voor op dezelfde plaatsen en in dezelfde volgorde. Door die overstromingen langs de Niederrhein is de piekafvoer van zo'n golf bij Lobith 16.500 m<sup>3</sup>/s".

Ingeval in de toekomst de dijken in Duitsland worden verhoogd, bijvoorbeeld omdat men in de toekomst de steden beter wil beschermen, dan is dus te verwachten dat er meer water Nederland binnenkomt. Voor de Maas geldt dat op basis van de huidige inzichten er geen reden is om aan te nemen dat de afvoercapaciteit van de Maas bovenstrooms van Borgharen door fysische factoren beperkt wordt. Dit betekent dat meer neerslag een hogere afvoer bij Borgharen geeft.

Op basis van het WB21 midden scenario voor het einde van deze eeuw (2100) is voor de PKB "Ruimte voor de Rivier" een toekomstige maatgevende Rijnafvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s aangenomen en bij de "Integrale Verkenning Maas" een maatgevende Maasafvoer van 4.600 m<sup>3</sup>/s voor 2100 (Tabel 2.4). Bij de bepaling van toekomstige maatgevende afvoeren is ook rekening gehouden met de maximale afvoercapaciteit van de rivier bovenstrooms van Nederland. In Tabel 2.4 staan de maatgevende afvoeren gesimuleerd onder de KNMI'06 scenario's:

**TABEL 2.4**

Schatting van de  $Q_{1250}$  (afvoer die gemiddeld eens per 1250 jaar kan voorkomen; in  $m^3/s$ ) voor Rijn (Lobith) en Maas (Borgharen) op basis van KNMI'06 scenario.

**A:** Op basis van de vuistregel: toename van de maatgevende afvoer is evenredig aan de toename van de 10-daagse neerslagsom in het winterseizoen;

**B:** Op basis van vergelijking tussen verandering afvoerregime WB21 en KNMI'06 scenario's.

Scenario		A		B	
		Rijn (Lobith) ( $m^3/s$ )	Maas (Borgharen) ( $m^3/s$ )	Rijn (Lobith) ( $m^3/s$ )	Maas (Borgharen) ( $m^3/s$ )
2001		16.000	3.800	16.000	3.800
2050	G	16.640	3.952	16.800	4.000
	W	17.280	4.104	17.600	4.200
	G+	16.960	4.028	16.800	4.000
	W+	17.920	4.256	17.600	4.200
2100	G	17.280	4.104	17.600	4.200
	W	18.560	4.408	19.200	4.550
	G+	17.920	4.256	17.600	4.200
	W+	19.840	4.712	19.200	4.550

De bandbreedte bij de schatting van de  $Q_{1250}$  in een verre toekomst is groot. De verschillen tussen de oude (WB21) en nieuwe (KNMI'06) klimaatscenario's zijn klein ten opzichte van de onzekerheden die er bestaan bij het vaststellen van de  $Q_{1250}$ . In het onlangs verschenen rapport "Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied" zijn scenario's aanbevolen voor de maatgevende afvoeren van Rijn en Maas voor respectievelijk 2050 en 2100. Hier wordt voor de Rijnaflow 17.000 en 18.000  $m^3/s$  aangenomen en voor de maatgevende Maasafvoer 4.200 en 4.600  $m^3/s$  voor 2050 respectievelijk 2100.

Binnen het AVV rapport is besloten de volgende scenario's aan te houden (Tabel 2.5):

**TABEL 2.5**

Scenario's voor rivierafvoeren en klimaat zoals gebruikt binnen het project Aandacht voor Veiligheid.

Jaar	$Q_{1250}$ Rijn ( $m^3/s$ )	$Q_{1250}$ Maas ( $m^3/s$ )	Zeespiegelstijging (cm)
2040	16.700	4.200	25
2100	18.000	4.600	60
			85
			150
Verre toekomst	18.000	4.600	500

## 2.2 Sociaal-economische trends

In 2006 publiceerden drie planbureaus, te weten het Centraal Planbureau (CPB), het Milieu en Natuurplanbureau (MNP) en het Ruimtelijk Planbureau (RPB), gezamenlijk de scenariostudie 'Welvaart en Leefomgeving' (WLO; CPB et al., 2006). Deze scenario's beschrijven naast sociaal-economische trends hoe Nederland zich (ruimtelijk) kan ontwikkelen. Er wordt gekeken naar de effecten van bevolkingsontwikkeling en economische structuur op de lange termijn (2020 – 2040) voor een achttal thema's, namelijk wonen, werken, mobiliteit, landbouw, energie, milieu, natuur & recreatie en water.

De belangrijkste conclusies van WLO zijn:

- Ruimtedruk in de Randstad neemt toe;
- CO<sub>2</sub>-emissie neemt toe;
- Demografische krimp op lange termijn;
- Wateroverlast en overstromingen tegen relatief lage kosten te voorkomen;
- Landschap verandert;
- Mismatch arbeidsaanbod/vraag in de Randstad;
- Woningaanbod niet adequaat.

De WLO studie heeft vier verschillende scenario's voor Nederland opgeleverd.

De kengetallen voor deze scenario's staan in Tabel 2.6. Voor AVV zijn hieruit twee scenario's gekozen die voldoende onderscheidend zijn om adaptatiemaatregelen tegen overstromingen te evalueren: Global Economy en Regional Communities. De WLO scenario's kijken echter niet verder dan 2040. Binnen het AVV project is daarom de wens uitgesproken om voor het jaar 2100 scenario's voor Nederland op te stellen. In een workshop (Annex 2) met experts is dan ook gekozen om naast meer extreme klimaatscenario's ook de twee gekozen WLO scenario's systematisch door te redeneren naar het jaar 2100 (Van 't Klooster et al., 2008). In Annex 5 zijn mogelijke aanvullingen weergegeven die gebruikt kunnen worden om de bestaande WLO scenario's geschikt voor waterveiligheidsverkenningen voor 2100. Deze aanvullingen zijn niet allemaal gebruikt maar hebben samen met een literatuurstudie (Hoeven et al., 2008) geleid tot nieuwe sociaal economische scenario's voor 2100 waarvan de uitwerking hieronder is weergegeven.

Zoals eerder beschreven, ligt het jaar 2100 te ver weg om met enige mate van zekerheid uitspraken te kunnen doen over hoe de toekomst er dan uit zal zien. De lange termijn toekomst is zo onzeker dat een kwantitatieve scenariostudie voor 2100 nauwelijks mogelijk lijkt. Echter, omdat de verwachting is dat effecten van klimaatverandering met name zullen gaan spelen op de langere termijn, is ervoor gekozen om ook de sociaal-economische ontwikkelingen in de verre toekomst (na 2040) kwantitatief uit te werken. Deze uitwerking is niet meer en niet minder dan een gedachte-experiment, waarbij wij hebben willen verkennen wat het zou kunnen betekenen als de beschreven ontwikkelingen in WLO zich zouden doorzetten naar de verre toekomst (2100).

Hieronder zullen we beschrijven op welke wijze wij twee WLO-scenario's (Global Economy en Regional Communities) hebben doorgeredeneerd naar het jaar 2100.

## Sociaal economische scenario's voor 2100

Wanneer we de Global Economy- en Regional Communities scenario willen doorredeneren naar 2100, moeten we een aantal karakteristieken en aannames vereenvoudigen met betrekking tot technologische-, bestuurlijke- en gedragspatronen (Van der Hoeven et al., 2008). Om dit op een consistente manier te doen is ervoor gekozen de verhaallijn van de IPCC-SRES scenario's (IPCC, 2000) te volgen. Deze scenario's zijn breed toegepast en liggen ook aan de basis van de WLO scenario's. Er wordt verder gebruik gemaakt van aanvullende studies van het CBS en MNP/RIVM (de Jong and Hilderink, 2004; Hilderink, 2004) die naar lange-termijn bevolkingsscenario's voor Nederland en demografische ontwikkelingen (vruchtbaarheid, sterfelijkheid en migratie) kijken.

Het Global Economy scenario wordt gekenmerkt door snelle economische groei, globalisering en een snelle introductie van nieuwe en efficiëntere vormen van technologie. Sleutelementen zijn: globalisering, liberalisering en privatisering. Welvaart vormt de drijvende kracht achter mensen en overheden. De overheid houdt zich vooral bezig met controleren of de 'rules of the game' worden gerespecteerd. Daarnaast heeft de overheid een rol in domeinen als defensie, communicatie en handel. (Hilderink, 2004). Deze elementen blijven van kracht voor het jaar 2100. Op basis van het IPCC A1 scenario en op basis van aanvullende beschrijvingen (de Jong and Hilderink, 2004; Hilderink, 2004) zijn prognoses voor groei van de bevolking en economie in Nederland samengesteld. Daarbij is aangenomen dat de bevolkingsgrootte sterk zal toenemen (tot 22 miljoen inwoners in 2100) en de economie sterk zal groeien. De prognoses van gebruikte bronnen en de in deze studie gebruikte aannames zijn opgenomen in Tabel 2.6.

44

**TABEL 2.6**

Onderliggende aannames voor het Global Economy scenario voor bevolking en economie.

Global Economy						
Bron	Schaal		Bevolking		Economie (BBP)	
			In miljoenen	Groei factor	Per Capita (US\$)	Groei factor
SRES (IPCC, 2000)	Wereld	1950	2.500			
		2000	6.000	2,4	10.000	
		2050	9.000	1,5	20.800	2,1
		2100	7.000	0,8	74.900	3,6
Hilderink (2004b)	OECD	2000	800		29.268	
		2050	1.000	1,25	67.073	2,3
		2100	1.120	1,1	148.780	2,2
WLO (CPB et al. 2006)	Nederland	1950	10		53 (index)	
		2002	16,2	1,6	100 (index)	1,9
		2040	19,7	1,2	221 (index)	2,2
Hilderink (2004a)	Nederland	1950	10		19.066	
		2000	16	1,6	36.225	1,9
		2050	20	1,25	83.016	2,3
AVV	Nederland	2050	19,7		83.016	
		2100	22	1,12	184.145	2,2

## Uitwerking Global Economy scenario op toekomstig landgebruik

Het Global Economy scenario uit de WLO studies (CPB et al., 2006) combineert globalisering met individualisme. Overheidsinterventie in het functioneren van de agrarische markt en het ruimtelijke beleid is beperkt. Alleen de meest waardevolle natuurgebieden worden beschermd. Gemeentes krijgen meer vrijheid. Er gelden geen beperkingen wat betreft urbanisatie. Dit leidt tot versnippering en een afname van het gecultiveerde landschap. Het aantal hectare landbouwgrond neemt daarmee drastisch af. Nadruk ligt op intensieve veeteelt, akkerbouw neemt af. Uitbreiding rondom bestaande steden gaat onverminderd door, landelijk wonen neemt ook steeds verder toe. Mensen zoeken rust voor zover mogelijk in de nabijheid van de stad, het areaal stedelijk groen groeit hierdoor harder. Er vindt tevens een enorme groei plaats in economische activiteiten en dan wel vooral rondom snelwegen. Recreatie vindt ook steeds meer plaats rondom grotere steden. Natuurontwikkeling vindt plaats op initiatief van privé organisaties en personen.

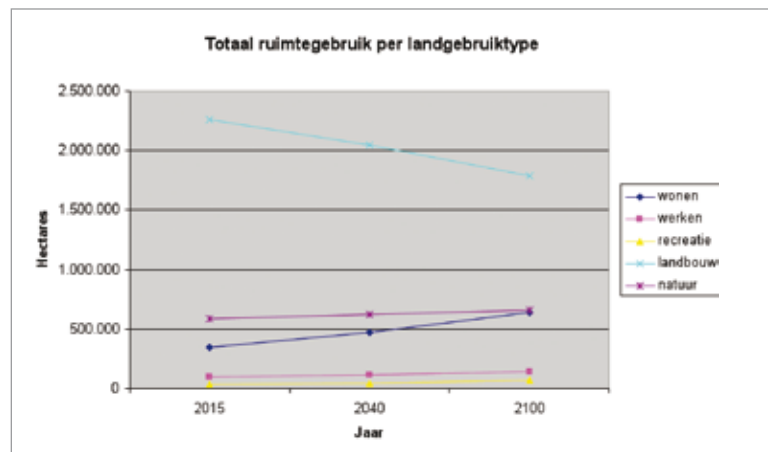
Voor wonen, werken en recreëren is de ruimtebehoefte in 2100 geschat uit de groei van het gebruikte areaal per inwoner tussen 2000 en 2040 per ruimtegebruiktype. Om het areaal te bepalen dat elke inwoner naar verwachting nodig heeft in 2100 is deze groeifactor vervolgens toegepast op de periode 2040 tot 2100. In het Global Economy scenario zullen overheden niet inzetten op de ontwikkeling van nieuwe natuur. Er is daarom verondersteld dat het areaal aan natuur in 2100 gelijk zal zijn aan het areaal natuur in 2040. Het is even goed te beargumenteren dat in dit scenario door de toenemende welvaart en vraag naar recreatieruimte, het areaal (privaat gefinancierde) natuur door private financiering toe zal nemen. In deze studie is met deze mogelijke investeringen geen rekening gehouden. Het is aannemelijk dat ontwikkeling van areaal natuur vooral ten koste gaat van areaal landbouw.

Er wordt vanuit gegaan dat er geen nieuw land wordt gewonnen. Alle ruimtevraag zal daarom (net als nu het geval is, zie Koomen et al., 2008) ten koste gaan van landbouwgrond. Het areaal landbouwgrond zal daarom in 2100 net zoveel afgenomen zijn als het areaal van alle andere typen is toegenomen. Voor alle landgebruiktypes zal het areaal per inwoner toenemen, behalve voor landbouw. In totaal zal het areaal per inwoner afnemen van 194 hectare per 1000 inwoners, tot 147 hectare per 1000 inwoners. In Figuur 2.9 worden enkele belangrijke ontwikkelingen met betrekking tot het ruimtegebruik in dit scenario getoond.

45

**FIGUUR 2.9**

Totale hoeveelheid hectares per ruimtegebruiktype in Nederland (Global Economy scenario).





Het Regional Communities scenario voor 2100 wordt gekenmerkt door een groeiende zorg voor de omgeving en sociale duurzaamheid. Overheid en bedrijven worden op nationale en lokale schaal hierdoor steeds meer beïnvloed. Lokale en regionale bestuursorganen en instituties worden steeds belangrijker. Welzijn, gelijkheid en milieubescherming krijgen prioriteit. Dit komt steeds meer tot uiting in gemeenschappelijke sociale oplossingen naast technische oplossingen (IPCC, 2001).

Op basis van het IPCC B2 scenario en op basis van aanvullende beschrijvingen (de Jong en Hilderink, 2004; Hilderink, 2004) zijn prognoses opgesteld voor de groei van de bevolking en economie in Nederland. In dit scenario is aangenomen dat de bevolkingsgrootte in Nederland stabiel zal blijven, en de economie licht zal groeien. De groei volgens de bronnen en de in deze studie gebruikte aannames zijn opgenomen in Tabel 2.7.

**TABEL 2.7**  
Cijfers Regional Communities  
scenario voor bevolking en  
economie.

Regional Communities						
Bron	Schaal	Jaar	Bevolking	Groeifactor	Economie (BBP)	
			In miljoenen		Per capita (US\$)	Groeifactor
SRES (IPCC, 2000)	Wereld	1950	2.500			
		2000	6.000	2.4	10.000	
		2050	8.800	1.5	11.700	1.2
		2100	10.000	1.1	22.600	1.9
Hilderink (2004b)	OECD	2000	880		29.268	
		2050	880	1	53.658	1.8
		2100	880	1	80.000	1.5
WLO (CPB et al. 2006)	Nederland	1950	10		143	
		2002	16.2	1.6	100	0.7
		2040	15.8	1.0	133	1.3
Hilderink (2004a)	Nederland	1950	10		19.066	
		2000	17	1.7	36.225	0.7
		2050	15	0.9	66.412	1.8
AVV	Nederland	2050	15.8	1	66.413	
		2100	15	1	99.016	1.0

## Uitwerking Regional Communities scenario op toekomstig landgebruik

Het Regional Communities scenario heeft andere consequenties voor ruimtegebruik dan het Global Economy scenario. In het ruimtelijk beleid zullen in het Regional Communities scenario steeds meer economische activiteiten geïntegreerd worden op lokaal niveau. Innovaties in transport en stedelijke infrastructuur dragen bij aan minder stadsverkeer en een steeds verdere auto-onafhankelijkheid. Een duidelijke nadruk op eigen voedselproductie (IPCC, 2001) draagt bij aan een blijvende noodzaak voor landbouwgrond. Beleid voor het landelijk gebied is restrictief, er gelden lokale beperkingen wat betreft verstedelijking. Grotere natuurgebieden worden beschermd en nieuwe natuur wordt ontwikkeld.

De ruimtebehoefte van verschillende landgebruiktypes is in het Regional Communities scenario voor 2100 op dezelfde manier berekend als in het Global Economy scenario.

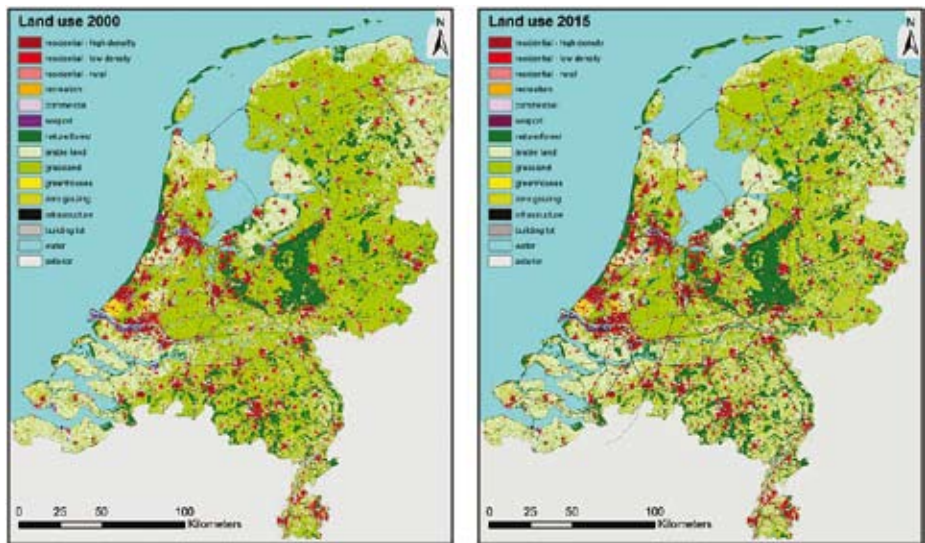
Voor wonen, werken en recreëren is de ruimtebehoefte in 2100 geschat uit de groei van het gebruikte areaal per inwoner tussen 2000 en 2040 per ruimtegebruiktype. Om het areaal te bepalen dat elke inwoner naar verwachting nodig heeft in 2100 is deze groeifactor vervolgens toegepast op de periode 2040 tot 2100. Ook hier is een uitzondering gemaakt voor de ruimtegebruiktypes natuur en landbouw. Het areaal natuur neemt wel toe maar niet in dezelfde mate als tussen 2000 en 2040. Er is in dit scenario meer aandacht en zorg voor het milieu, maar er zullen onvoldoende middelen zijn om alle natuur te realiseren. Er wordt daarom vanuit gegaan dat het areaal tussen 2040 en 2100 niet net zoals bij wonen, werken en recreëren met een even grote factor toeneemt als tussen 2000 en 2040. In dit scenario is er vanuit gegaan dat er tussen 2040 en 2100 even veel hectares natuur ontwikkeld wordt, als dat er tussen 2000 en 2040 bijkomt. Verandering van landgebruiktype gaat ook in dit scenario (net als in het Global Economy scenario) ten koste van landbouwgrond (Figuur 2.9).

### Landgebruik voor 2015, 2040 en 2100

Op basis van de uitgewerkte schattingen van ruimtebehoeftes is met het model de Ruimtescanner (Koomen et al., 2008) geschetst hoe de ruimte in Nederland in de verschillende scenario's in het jaar 2015, 2040 en 2100 zal worden gebruikt. In dit hoofdstuk worden deze schetsen uitgewerkt. De Ruimtescanner is een model dat op basis van door beleid, omgeving en sociale relaties aangeeft hoe waarschijnlijk een bepaald soort ruimtegebruik voor zal komen op een bepaalde plek. Op basis van deze waarschijnlijkheden en eerder bepaalde ruimtebehoeftes schetst de Ruimtescanner een beeld van het ruimtegebruik na een bepaalde periode.

Om een beeld te krijgen van de veranderingen in de toekomst per scenario, is eerst een beeld nodig van het grondgebruik in het basisjaar 2015. Dit beeld is bepaald met de ruimtescanner door de huidige sociaal-economische trends (zie ook Trendscenario in de studie NL Later, MNP, 2007) vanaf het jaar 2000 door te trekken naar het jaar 2015. Het resultaat is te zien in Figuur 2.10.

**FIGUUR 2.10** →  
Verdeling ruimtegebruik in Nederland in 2000 en 2015 bepaald met de Ruimtescanner onder de huidige sociaal-economische trends.

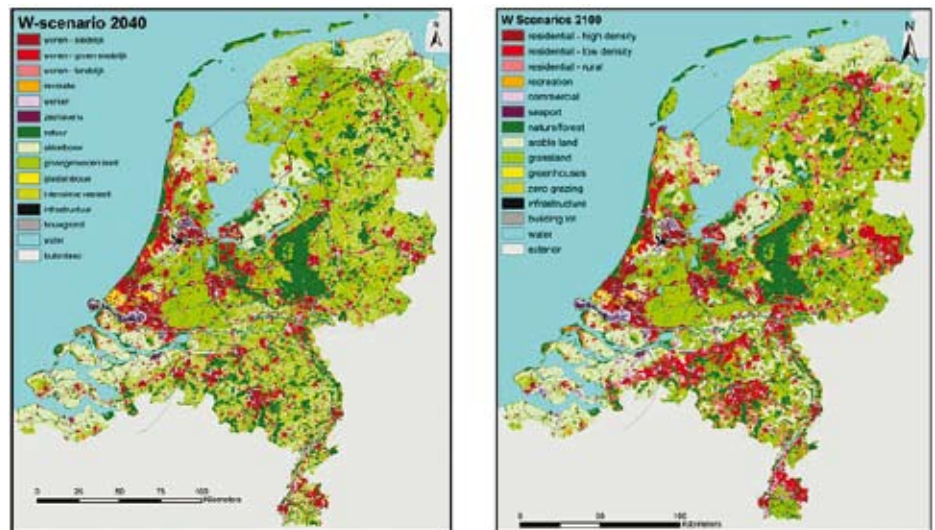


In Figuur 2.11 worden de ruimtelijke gevolgen van het Global Economy scenario getoond (tijdens het doorrekenen van het model aangeduid als het 'W'-scenario). De vraag naar ruimte in 2040 is per provincie verdeeld. De in deze studie beschreven maatregelen hebben veelal een provincieoverschrijdend effect. Daarnaast is het niet onaannemelijk dat door ruimtegebrek na 2040 de overgangszone en perifere zone sterker zullen gaan groeien. Om deze redenen is de vraag naar ruimte voor de periode 2040-2100 op nationale schaal bepaald. Dit betekent dat de ruimteclaims voor die periode per provincie bij elkaar zijn opgeteld en over heel Nederland zijn verdeeld.

Op de kaarten is te zien dat er in het GE-scenario relatief veel rood (wonen) gebied bij komt. In Brabant groeit de rij steden van Roosendaal tot Den Bosch aan elkaar. Daarnaast groeit Eindhoven sterk. Maar ook ten oosten en zuiden van de Veluwe, rondom Maastricht, rondom Almelo en Hengelo en rondom Groningen groeien agglomeraties sterk. Volgens het model blijft de Randstad aantrekkelijk voor nieuwe stedelijke ontwikkeling.

**FIGUUR 2.11**

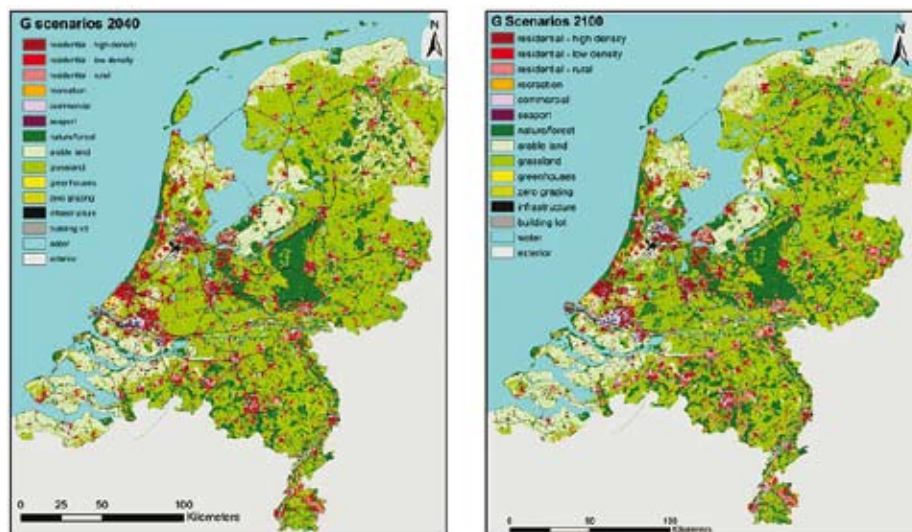
Simulaties van het ruimtegebruik in 2040 en 2100 onder het GE scenario.



In Figuur 2.12 is het ruimtegebruik te zien onder het Regional Communities scenario voor 2040 en 2100 (tijdens het doorrekenen van het model aangeduid als het 'G' scenario). Zoals ook voor het Global Economy scenario geldt, zijn de ruimtebehoefte na 2040 voor het jaar 2100 op nationale basis verdeeld. In tegenstelling tot het W scenario zijn er geen grote verschillen aan te wijzen tussen het ruimtegebruik in 2040 en 2100. Omdat de bevolking niet of nauwelijks groeit hoeft er weinig bijgebouwd te worden. Her en der verdwijnen zelfs stukjes bebouwd gebied. Daarnaast is opvallend dat het natuurlijk (donker groen) areaal aanzienlijk toeneemt. In het Groene Hart en Noord-Holland is dit erg opvallend. Daarnaast neemt het areaal akkerbouw in Drenthe aanzienlijk af waarvoor grondgebonden teelt in de plaats komt. In Friesland en Groningen neemt het areaal akkerbouw juist toe. Daarnaast is opvallend dat in Rotterdam het areaal werken zich uitbreidt ten koste van het areaal wonen.

FIGUUR 2.12

Simulatie van het ruimtegebruik in 2040 en 2100 onder het RC scenario.



## 2.3 Trends en Discontinuïteiten

In de introductie van dit hoofdstuk werd gesteld dat de scenario's voldoende van het heden moeten afwijken om als basis te kunnen dienen voor het testen van adaptatieoplossingsrichtingen. Door oplossingsrichtingen tegen verschillende toekomsten af te zetten, wordt duidelijk waar de kwetsbaarheden van huidige en voorgenomen oplossingsrichtingen zitten, hoe huidige of voorgenomen oplossingsrichtingen kunnen worden aangepast en/of beter vorm kunnen worden gegeven. Om te verkennen of de sociaal-economische en klimaatscenario's extreem genoeg zijn om de kwetsbaarheden van mogelijke adaptatieoplossingsrichtingen bloot te leggen, hebben we op 28 februari 2007 een workshop 'Denken in Discontinuïteiten' georganiseerd met waterexperts uit de wetenschap, de beleidswereld en de praktijk (Klooster et al., 2007d; Annex 2). Het doel van deze workshop was te verkennen welke nieuwe (niet trendmatige) ontwikkelingen en gebeurtenissen er in de toekomst op ons af kunnen komen.

Aanleiding voor het organiseren van deze workshop was de observatie dat bestaande sociaal-economische scenario's zoals beschreven in de WLO studie zogenaamde 'trendscenario's zijn. Dat wil zeggen dat wordt verondersteld dat in de verschillende componenten van de scenario's trendmatige ontwikkelingen zijn te verwachten. De toekomst, zeker als we het hebben over een termijn van 50 of 100 jaar, is echter omgeven met grote onzekerheid en trendbreuken, verrassingen, radicale omwentelingen en systeemveranderingen zijn daarom denkbaar en mogelijk. De geschiedenis leert namelijk dat de wereld vaak het business-as-usual-pad verlaat door afwijkingen van actuele trends, standaardpatronen en dominante paradigma's (zie ook Van Asselt et al., 2005). Om ons beter voor te kunnen bereiden op een onzekere toekomst is het van belang verder te gaan dan wat op basis van geobserveerde trends uit verleden en heden kan worden gezegd. En verschillende alternatieve toekomsten, inclusief mogelijke trendbreuken, verrassingen, radicale omwentelingen en systeem-veranderingen (discontinuïteiten), te doordenken.

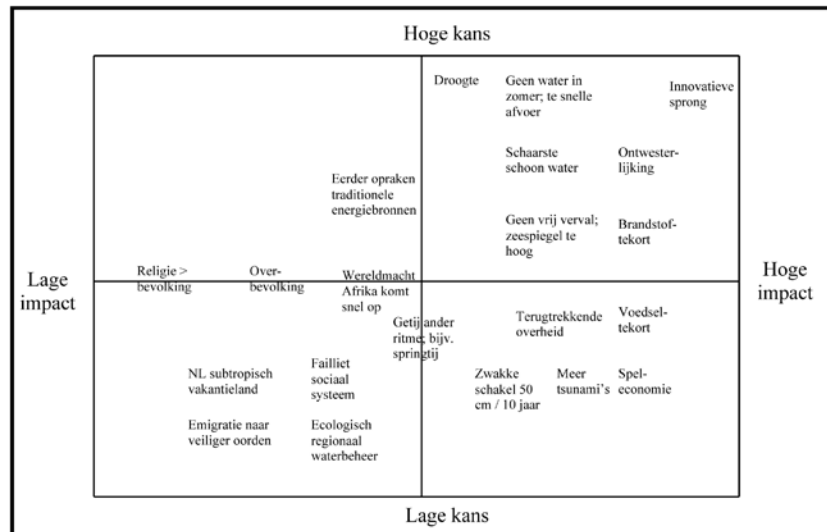
Het doel van de workshop was om door middel van verschillende gedachte-experimenten te komen tot nieuwe inzichten ten aanzien van mogelijke discontinuïteiten met betrekking tot watergerelateerde veiligheid. Een discontinuïteit kan worden gedefinieerd als “een breuk in een dominante ontwikkeling in de maatschappij”, die ogenblikkelijk of geleidelijk kan ontstaan als een bepaalde drempelwaarde wordt overschreden (zie ook Valkering et al., 2007). Van belang is de notie dat de typering van een discontinuïteit relatief en normatief is: wat voor de één een trendbreuk is, is voor de ander vanuit een langer tijdsperspectief wellicht ruis. Voorbeelden van discontinuïteiten ten aanzien van de huidige ontwikkelingen zijn:

- Een grote overstroming, met omslag in denken over kwetsbaarheid;
- Aanhoudende sterke economische recessie;
- Excessieve stijging van energie- en voedselprijzen in de wereld;
- Maatschappij ontwrichtende internationale conflicten.

Binnen het project AVV is een lange lijst gemaakt van mogelijke discontinuïteiten. Op basis hiervan is een classificatie gemaakt naar de “mate van impact van een trendbreuk op watergerelateerde veiligheid” en “kans van optreden”. Deze classificatie levert de volgende Figuur 2.13 op (Van 't Klooster et al., 2007).

**FIGUUR 2.13**

Lijst van mogelijke discontinuïteiten, geclusterd naar kans van optreden en de mate van impact op watergerelateerde veiligheid.



De lijst die gebruikt is Figuur 2.13 is uiteraard niet volledig, maar er kan worden gesteld dat de gebeurtenissen en ontwikkelingen met een hoge impact en hoge kans interessant zijn om systematisch door te redeneren.

Het met verschillende waterexperts zowel binnen als buiten het projectteam, aangevuld met een aantal zogenaamde ‘vrijdenkers’ hebben was een manier de aannames ten aanzien van zowel toekomstige sociaal-economische als klimatologische ontwikkelingen kritisch tegen het licht te houden. Het doordenken van verschillende ‘what-if-redeneringen’ en het verplaatsen in wat meer extreme toekomsten, maakten duidelijk dat de toekomst ook anders kan uitpakken dan we op basis van observaties van het verleden en heden misschien zouden verwachten. Als we ons willen voorbereiden op een onzekere toekomst dan moet ook de mogelijkheid van trendbreuken in overweging worden genomen. De uitkomsten van deze bijeenkomsten hebben er ondermeer toe geleid er gekozen is om een Ophoog Variant mee te nemen in deze studie (zie ook Hoofdstuk 6).

Het beheer van water wordt steeds complexer aangezien er steeds meer eisen aan dit beheer wordt gesteld, de fysieke ruimte om maatregelen te ontwikkelen steeds schaarser wordt en er gewerkt moet worden met onzekere ontwikkelingen op de lange termijn. Tegelijkertijd neemt de maatschappelijke druk toe om ons aan te passen aan bijvoorbeeld verwachte klimaatveranderingen. Steeds meer wordt daarom getracht het ruimtelijke ordeningsbeleid af te stemmen op het waterbeleid ten aanzien van veiligheid en andersom.

Dit hoofdstuk gaat in op deze thematiek en er wordt een overzicht gegeven over hoe het huidige beleid omgaat met lange termijn veranderingen en wat de uitdagingen zijn. Ook wordt ingegaan op internationale ontwikkelingen zoals nieuwe EU Hoogwaterrichtlijn. Delen van dit hoofdstuk zijn afkomstig uit het ARK document Aerts et al. (2007) en de AVV achtergrondstudie Aerts et al. (2008b).

## 3.1 Hoe gaat het huidig waterveiligheid beleid om met de lange termijn?

Waterveiligheid is een dynamisch en complex vraagstuk en er zijn veel ontwikkelingen in het beleid die nu in Nederland spelen. De huidige aandacht voor waterveiligheid is mede ingegeven door gebeurtenissen uit het verleden zoals, extreme rivierafvoeren en evacuaties in 1993 en 1995, extreme neerslag in 1998 en 2001 in grote delen van Nederland, de overstromingen in New Orleans als gevolg van Katrina in 2005 en de overstromingen in Engeland in 2007.

De overstromingen in Engeland in de zomer van 2007 hebben aangetoond dat er bestuurlijk niet goed is geanticipeerd op de groeiende kwetsbaarheid voor overstromingen. Gebrek aan aandacht voor de risico's van de bestuurders is een van de redenen, waardoor geen middelen beschikbaar waren voor noodzakelijke investeringen in het watersysteem. Verzekeraars hebben ook aangegeven dat de overheid in de afgelopen decennia te weinig geïnvesteerd heeft, mede omdat men ervan uitging dat de schade toch verzekerd was bij verzekeraars (Bouwer et al, 2007).

In Nederland is er op dit moment veel aandacht voor waterveiligheid en de lange termijn ontwikkelingen zoals beschreven in Hoofdstuk 2. De Nederlandse overheid heeft ook een reeks maatregelen genomen:

- Voor wat betreft de lokale wateroverlast en verandering van het rivierafvoer regime is gereageerd met de nota 'Waterbeheer 21<sup>ste</sup> eeuw'. Hieruit is het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) gevolgd waarin afspraken zijn gemaakt tussen de nationale en regionale overheden.
- De aanpassing aan verhoogde rivierafvoeren wordt uitgewerkt in het programma 'Ruimte voor de Rivier' en de "Maaswerken".
- De risico's aan de kust worden verminderd door het project 'Zwakke schakels'.



- De huidige veiligheid van primaire waterkeringen en de gevolgen in termen van schade en slachtoffers worden momenteel geanalyseerd in het project 'Veiligheid Nederland in Kaart'.
- Het programma Water Veiligheid 21ste eeuw is gestart (WV21 moet in 2008 een nieuwe nota op het gebied van waterveiligheid opleveren). Centraal hierin staat hoe we in de nabije toekomst met de normen voor de primaire waterkeringen omgaan.
- De Task Force Overstromingen (TMO) is ingesteld door het Ministerie van Binnenlandse zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) en het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (V&W) om de organisatie rondom een waterramp te verbeteren.
- Risicocommunicatie; Er wordt een begin gemaakt met de communicatie naar burgers over overstromingsrisico's, overstromingen is een onderdeel van de rampencampagne van BZK en overstromingen komen op de publieke provinciale risicokaarten.
- Deltacommissie: Momenteel werkt de Deltacommissie onder leiding van dhr. C.Veerman aan een nieuwe visie op waterveiligheid voor de toekomst.

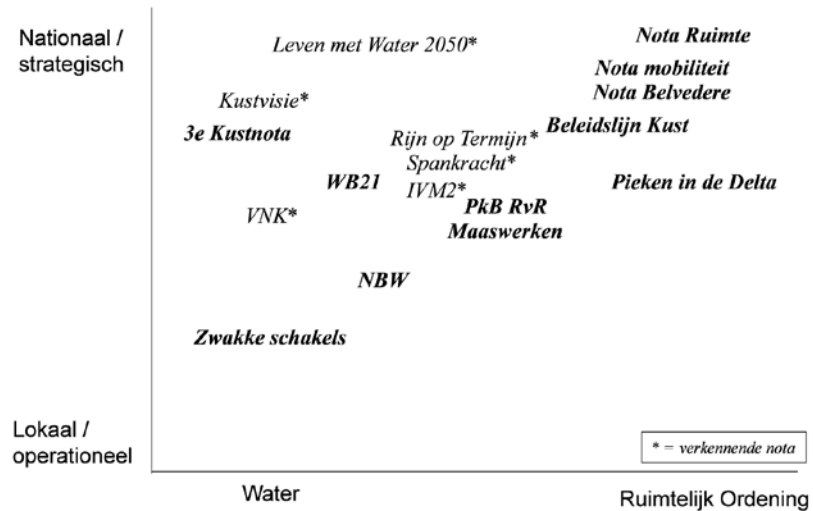
Verder hebben de ministeries van VROM, V&W, LNV en EZ het initiatief genomen een Nationaal Programma Adaptatie Ruimte en Klimaat (ARK) op te zetten. Het doel van het ARK is het klimaatbestendig maken van de ruimtelijke inrichting van Nederland. Gezien de grote impact van klimaat op de waterveiligheid, het grote maatschappelijke belang en de vele betrokken partners is waterveiligheid een belangrijk onderdeel van ARK.

## Analyse van de huidige beleidsnota's

Omdat er zeer veel nota's zijn op het gebied van waterbeheer en ruimtelijke ordening is er in deze studie een selectie gemaakt van de belangrijkste strategische en verkennende nota's die van belang zijn voor het onderwerp waterveiligheid en ruimtelijke ordening (Aerts et al., 2008). Voor een analyse hoe deze nota's inspelen op lange termijn ontwikkelingen is het goed stil te staan bij hoe deze nota's zijn gepositioneerd in het huidige Nederlandse beleidsveld. Dit is weergegeven in Figuur 3.1 waarbij er een indeling is gemaakt op de thema's water en RO en de beleidsniveaus lokaal en nationaal. De Figuur maakt een onderscheid in operationele -meer lokaal- georiënteerde nota's en strategische -meer nationaal- georiënteerde nota's. Verder is er een indeling op de horizontale as van nota's die op waterbeleid zijn gericht of juist op de ruimtelijke ordening. Met een \* is aangegeven dat het een verkennende nota betreft. Dit zijn meestal adviserende nota's waarin met meer vrijheidsgraden is gekeken naar mogelijke ontwikkelingen in de toekomst.

**FIGUUR 3.1**

Selectie en indeling van de geanalyseerde nota's naar strategisch niveau op de beleidsthema's Water en Ruimtelijke Ordening.



Een eerste analyse van het huidige beleid is aanleiding geweest voor de motie Lemstra (Eerste Kamer, 21 maart 2005). Hierin wordt gesteld dat de bestaande beleidsnota's niet eenduidig zijn ten aanzien van klimaatverandering en overige lange termijn ontwikkelingen. In zijn motie wijst het eerste kamerlid op:

[...]

- de verschillen in de planningshorizonten in deze beleidsnota's en het feit dat ze dicht bij het heden liggen;
- het feit dat er uit genoemde nota's geen heldere visie naar voren komt op de vraag hoe er geanticipeerd gaat worden op lange termijn ontwikkelingen rondom de ruimtelijke effecten van klimaatverandering;
- het feit dat er geen relaties worden gelegd met de investeringen in de kennisinfrastructuur en met de toekomstige aanwending van de middelen uit het Fonds Economische Structuurversterking; terwijl er grote investeringen gemoeid zullen zijn met het voorsorteren op deze opgaven;
- en dat er bovendien geen instrumenten beschikbaar zijn voor een objectieve afweging van maatschappelijke kosten en baten.

....]

De motie Lemstra benadrukt dat lange termijn ontwikkelingen rondom zaken als (onder meer) klimaatverandering, zeespiegelrijzing en hoogwaterproblemen onvoldoende aan de orde komen in de huidige grote ruimtelijk georiënteerde beleidsnota's. De cross-sectorale samenhang tussen ruimtelijke ontwikkeling en klimaatverandering ontbreekt en bij ongewijzigd beleid zal deze ook niet ontstaan.

Voor elke nota is een beschrijving gemaakt voor wat betreft de relevantie voor het onderwerp waterveiligheid en zijn de belangrijkste lange termijn aspecten beschreven die in de nota worden genoemd (Aerts et al., 2008). Deze aspecten zijn samengevat in Tabel 3.1 en Tabel 3.2. Op basis hiervan blijkt dat binnen de strategische nota's voornamelijk watergerelateerde nota's werken met klimaatscenario's. Belangrijke nota's zoals Nota Vitaal Platteland, Nota Ruimte, Pieken in de Delta en de Nota Mobiliteit doen dit niet. Ook blijkt dat veel strategische nota's sociaal-economische- en bestuurlijke trends onvoldoende meenemen of niet noemen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat



een aantal nota's dateren van voor het jaar 2006. In dat jaar is de WLO studie verschenen waarin de planbureaus sociaal-economische scenario's hebben samengesteld voor het jaar 2040. De WLO scenario's worden momenteel veel gebruikt als basis voor het formuleren van lange termijn beleid.

Verder blijkt dat, zoals Lemstra constateerde, de planninghorizonten van de nota's zeer verschillend zijn. De meeste nota's kijken niet verder dan 2015-2020. De nota's met betrekking tot de kust werken met klimaatscenario's tot 2050 en bieden zelfs een doorkijk naar 2200 (Tabel 3.1). Dit heeft waarschijnlijk te maken met het effect van zeespiegelstijging waarvan wordt verwacht dat deze nog enkele eeuwen zal doorzetten. Ook blijkt dat de strategische nota's nauwelijks rekening houden met klimaatextremen of extreme dijkdoorbraken. Deze worden soms wel genoemd maar niet systematisch verkend, laat staan doorgerekend. Een andere belangrijke constatering is dat hoewel de verschillende nota's op verschillende RO problemen ingaan (vandaar de "ja" in de kolom RO), de link tussen inrichtingsvraagstukken en waterveiligheid nog niet goed is uitgewerkt of zelfs geheel ontbreekt.

Voor de verkennende Nota's is het beeld anders en met name klimaatscenario's zijn veelvuldig gebruikt (Tabel 3.1). In deze nota's wordt ook gerekend met klimaatextremen (bijvoorbeeld extreme rivierafvoeren). Voorbeelden zijn de Spankracht studie, Integrale Verkenning Maas 2 en de Rijn op Termijn studie. Binnen de laatste studie is zelfs gerekend met een scenario waarbij er maximaal 20.000 m<sup>3</sup>/s Rijnafvoer bij Lobith het land binnenkomt. Afgezien van klimaatscenario's wordt echter niet met overige lange termijn ontwikkelingen gerekend zoals sociaal-economische ontwikkelingen. Wel worden trends zoals bevolkingsgroei, groei van de binnenvaart of natuurontwikkeling genoemd als factoren die direct of indirect van invloed zijn op het waterveiligheidsbeleid.

TABEL 3.1

Resultaten van het literatuur-  
onderzoek voor de bekeken  
nota's en studies op het gebied  
van waterbeleid en ruimtelijke  
ordering (Aerts et al., 2008).



Nota	Ministerie	Jaar	Gebruik scenario's	Tijd- schaal	Doorkijk	De nota houdt rekening met lange termijn ontwikkelingen in:					Rekening houden met extremen	Het noemen van risico's	Reservering waterberging
						Klimaat	RO	Socio – economie	Bestuur	Overig			
Strategische nota's													
Nota Belvédère	VRM	1999	nee			ja	nee	nee	nee	-	nee	-	
Waterbeleid 21 <sup>ste</sup> eeuw	V&W	2000	ja	2050	2100	ja	ja	nee	nee	geen	ja	ja	~ 60,000 ha
Derde Kustnota	V&W	2000	ja	~2050	~2200	ja	ja	ja	ja	geen	ja	ja	-
NMP4	VRM	2001	ja	-		ja	ja	ja	nee	-	nee	-	
Beleidslijn kust	V&W	2007	ja	2100	2200	ja	ja	nee	ja	-	nee	ja	
Nat. Bestuursakkoord Water	V&W	2003	ja	2015	...	ja	ja	nee	ja	toename verhard opp.	ja	ja	
Zwakke Schakels	V&W	2003	ja	2050	2200	ja	ja	nee	nee	geen	ja	ja	-
Nota Vitaal Platteland	LVN	2004	nee	2018	2027	ja	ja	ja	ja	EU beleid	nee	nee	-
Nota Ruimte	VRM	2004	nee	2020	2030	ja	ja	ja	nee	-	nee	nee	ja
Pieken in de Delta	EZ	2004	nee	2010	2015	nee	nee	ja	nee	-	nee	nee	-
Nota Mobiliteit	V&W	2004	nee	2010		nee	Ja	ja	nee	-	nee	nee	-
PKB Ruimte voor de Rivier	V&W	2006	ja	2015	2100	ja	ja	nee	ja	Sediment	ja	ja	ja
Deel 4													
Verkennde Nota's													
Rijn op Termijn	Wt Delft	1998	ja	2100		ja	ja	ja	nee	sedimentatie	ja	ja	ja
Spankracht Studie	V&W	2002	ja	2050	2100	ja	ja	ja	ja	Rel. Duitsland +25-45 cm sedimentatie	ja	ja	ja
Kustvisie 2050	V&W	2002	ja	2050	2100	Ja	ja	nee	ja	geen	ja	ja	-
Leven met Water in 2050	V&W	2004	ja	2050	-	ja	ja	ja	ja	IPCC scenario's	nee	nee	ja
VNK	V&W	2005	nee	-	-	nee	nee	nee	nee	Geen	ja	ja	-

TABEL 3.2

De klimaatscenario's en gegevens die gebruikt zijn als uitgangspunt bij de genoemde studie of nota.



Nota 's		Zeespiegelstijging		Temperatuurstijging		Neerslag toename		Extra aannames	Gebruikte scenario 's	
		2050	2100	2050	2100	2050	2100			
Strategische nota's										
Waterbeleid 21 <sup>ste</sup> eeuw	10-45 cm	20-110 cm	0,5-2 °C	1 – 4 °C	1,5-6%	3-12%	Toename neerslagintensiteit buien: 2050: 5-20 % ; 2100: 10-40 % Langere periodes droogte			WB21/KNMI (2001)
Nationaal Bestuursakkoord Water	10-45 cm	20-110 cm	0,5-2 °C	1 – 4 °C	1,5-6%	3-12%	Toename neerslagintensiteit buien: 2050: 5-20 % 2100: 10-40 % Langere periodes van droogte			WB21/KNMI (2001)
PKB Ruimte voor de Rivier		60 cm		2°C			20% toename van het jaarlijks maximum van de 10daagse winter neerslagsom in het stroomgebied van Rijn en Maas: Rijn 18.000 m³/s, Maas 4.600 m³/s. Zeespiegelstijging van 60 cm leidt tot een toename peil IJsseldelta van 20cm			Middenscenario KNMI/IPCC
Derde Kustnota		20-85cm					Zwaardere stormen, toename rivierafvoeren, hogere vloedwaterstanden en groter getijverschil, +10% wind			IPCC
Zwakke Schakels		20-110 cm gem. 60 cm					Zwaardere golfaanval, +10% wind, zeespiegelstijging is een doorgaand proces.			IPCC
Spankracht Studie		20-110 cm gem. 60 cm		1 – 6 °C		zomer: 1-4% winter:6-25%	Jaarlijks maximum van de 10daagse winterneerslag van 10-40%, maatgevende rivierafvoer Rijn 16.800- 19.200 m³/s, Maas 4.180-5.320 m³/s			KNMI/IPCC
Verkennde nota's										
Rijn op Termijn		100 cm					20.000 m³/s bij Lobith, 1/10.000 jaar storm			
Kustvisie 2050	15-60 cm	30-150 cm		0,5 - 2 °C	3-9%, zomer: 1-3% winter: 6-18%	6-18%, zomer: 2-6%, winter: 12-37%	Plaatselijke temp.stijging van 1 tot 4,5 °C, Veranderingen in windsnelheid, golfhoogte en richting, wateropzet, winterneerslag, herhalingsfrequentie, getijslag.			Alkyon (1999)

## 3.2 Waterveiligheid en Ruimtelijke ordening

De afstemming tussen RO beleid met al haar sectorale ruimteclaims voor landbouw, natuur, steden, etc en de ruimte die daarnaast voor waterveiligheid nodig is, wordt steeds belangrijker (zie bijvoorbeeld het programma ARK, [www.programmaark.nl](http://www.programmaark.nl)). In enkele recente inrichtingsprojecten wordt dan ook meer ruimte gezocht om water te bergen en om veiligheidsfuncties te koppelen aan landbouw en natuur. Ook is er een Watertoets die onder andere voor schrijft dat bestemmingsplannen aan bepaalde voorwaarden voor waterberging moeten voldoen ([www.watertoets.net](http://www.watertoets.net)).

Niet alle sectoren en partijen worden in de relevante planvormingsprocessen betrokken en de samenwerking op het gebied van waterveiligheid tussen sectoren kost tijd en is niet altijd vanzelfsprekend. Verder ontbreekt het soms aan gemeenschappelijk gedragen perspectieven hoe om te gaan met veiligheid voor overstromingen en het lange termijn denken is nog niet bij alle belanghebbenden doorgedrongen. Zo stelt het programma ARK dat er daarom meer kennis en er zijn meer handelingsperspectieven nodig in de RO voor het beperken van de gevolgen van overstromingen (zie brugdocument waterveiligheid, routeplanner 3, [www.programmaark.nl](http://www.programmaark.nl)). Vandaar dat de overheid veel investeert in kennisprogramma's zoals Klimaat voor Ruimte, Leven met Water en het zojuist opgestarte Kennis voor Klimaat.

De drie elementen zoals weergegeven in Figuur 1.2 zijn direct aan elkaar verbonden en er is onderzoek nodig naar deze verbindingen om op geïntegreerde wijze richting te kunnen geven aan het beleid. Een drietal voorbeelden wordt gegeven in het ARK document (Aerts et al., 2007):

- 1 Als er bouwvoorschriften worden opgesteld dan zal bekend moeten zijn hoe hoog het water kan komen en hoe vaak dit zal gebeuren. Hiervoor zijn toegesneden lange termijn scenario's nodig van klimaatveranderingen maar ook van andere trends zoals landgebruik en sociaal-economische factoren.
- 2 Voor het bepalen van het risico van een overstroming en uiteindelijk het vaststellen van het beschermingsniveau is inzicht nodig in de schade en het aantal dodelijke slachtoffers. De schade en slachtoffers is weer afhankelijk van de inrichting en bouwwijze zoals de beschikbaarheid van evacuatie-wegen, de voorspelbaarheid en de schuilmogelijkheden.
- 3 De noodzaak van nieuwe ruimtelijke reserveringen voor wonen en werken zullen ook leiden tot nieuwe technische oplossingen voor waterveiligheid. Bijvoorbeeld, er wordt alleen buitendijks gewoond indien het veiligheidsrisico aanvaardbaar is.

In ruimtelijke plannen en bij de keuze van woningbouwlocaties moet het overstromingsrisico zwaarder meewegen dan tot nu toe het geval is. Het Ruimtelijk Planbureau schrijft onlangs hierover dat '... dit vraagt om een andere opvatting van veiligheid: geen veiligheid zonder, maar veiligheid met het water' (RPB, 2007). Een belangrijke stap hiervoor is de erkenning dat het huidige onderscheid tussen binnendijkse en buitendijkse gebieden niet voldoende is. Ook binnen een dijkkring zijn er grote verschillen in overstromingsrisico. Het RPB schrijft dat deze verschillen zo groot zijn dat daarmee rekening dient te worden gehouden bij de keuze voor woningbouwlocaties.

Veel van het nu voorgenomen beleid moet daarom worden geëvalueerd op haar klimaatbestendigheid en de kwetsbaarheden die op grond van die analyse naar voren komen moeten ruimtelijk expliciet worden weergegeven. Zo heeft de ministerraad onlangs zeventien gebiedsontwikkelingsprojecten aangewezen die in aanmerking kunnen komen voor de financiële middelen die voor de uitvoering van de Nota Ruimte zijn bestemd. In het Nota Ruimte budget is tot 2014 circa 1 miljard euro beschikbaar. Bij de selectie van de projecten heeft het kabinet ervoor gekozen de inzet te richten op gebieden die onderdeel uitmaken van de nationale ruimtelijke hoofdstructuur, waar de ruimtedruk het grootste is en een aantal belangrijke ruimtelijke uitdagingen bij elkaar komen. Er ligt hier dus een kans deze grootschalige investeringen in de ruimtelijke ordening zo uit te werken dat ze meer klimaatbestendig worden. Klimaatadaptatie van ruimtelijke investeringen zou dan samen moet gaan met inzichten ten aanzien van duurzaamheid, versterking van het landschap, verbetering van de infrastructuur en binnenstedelijke herstructurering.

Zoals blijkt uit de activiteiten binnen bestaande kennis programma's, het programma ARK en de Commissie Veerman is de integratie van RO en het waterbeleid een belangrijk aandachtspunt. Het is echter van belang de erkende beperkingen van de RO scherp te hebben. De RO is een sector die vooral op regels georiënteerd is ('toelatingsplanologie') en geen eigen budget kent. Hierdoor is het goed mogelijk visies neer te leggen en daarvan afwijkende ontwikkelingen (deels-) tegen te houden, maar de gewenste ontwikkelingen realiseren wordt aan anderen overgelaten. Verder kent de RO een relatief sterke macht toe aan de regionale overheden, met name de gemeenten die het enige wettelijk bindende plan maken, het bestemmingsplan. Dergelijke plannen zijn vaak niet up-to-date, de procedures voor het maken/bijstellen worden als omslachtig ervaren, en er is bovendien in toenemende mate een cultuur aan het ontstaan waarbij schadevergoeding geëist wordt voor planveranderingen die negatieve gevolgen voor betrokkenen hebben. De beperkingen van de RO worden in toenemende mate erkend en er is een ontwikkeling richting projectgebaseerde planologie zichtbaar. Deze ontwikkeling biedt kansen voor het waterbeheer, maar er dient nader onderzocht te worden hoe deze optimaal te benutten.

### 3.3 Zijn we institutioneel voorbereid op lange termijn klimaatverandering?

Klimaatverandering kenmerkt zich door toenemende risico's en een toenemende onvoorspelbaarheid van de risico's. Adaptief bestuur kenmerkt zich daarom door twee verschillende zaken: het regelen van adaptatie en daarnaast het organiseren van het vermogen om op verrassende ontwikkelingen te reageren, ofwel het verhogen van de adaptiviteit van bestaande instituties.

In Nederland is inmiddels een omslag gaande van water keren/ water afvoeren naar meer ruimte voor water/ water vasthouden en bergen. Deze omslag impliceert een veel grotere claim op de ruimte, hetgeen in de praktijk nog niet zo eenvoudig te realiseren is, onder andere door de zeer omslachtige (besluitvormings-) procedures die een sterke hindermacht impliceren. Des te meer reden om te zoeken naar functiecombinaties. Kansen kunnen ontstaan door de wateropgave te schakelen aan de terugloop van het ruimtegebruik door de landbouw en de groeiende behoefte aan natuur, bijvoorbeeld voor recreatieve doeleinden.

Dit brengt ons bij de vraag van de adaptiviteit. Hier gaat het om het vermogen om structureel in te spelen op onverwachte gebeurtenissen en onzekerheid in het algemeen. Toegespitst op de overheid gaat het erom beleidsvoering als een leerproces te zien en bestaand beleid/bestaande regels weer te veranderen wanneer dat nodig is.

### 3.4 Waterveiligheid en de EU Richtlijn overstromingsrisico's

In 2007 is de nieuwe Europese Hoogwaterrichtlijn van kracht geworden (EU, 2007). Deze richtlijn kan een motor worden voor het in kaart brengen van overstromingsrisico's en daarmee ook het hanteren van deze risico's als randvoorwaarde voor beleid ten aanzien van de ruimtelijke ordening en het waterbeheer.

Het doel van deze nieuwe richtlijn is het in kaart brengen en beheersen van overstromingsrisico's en de gevolgen van overstromingen. Daarbij zullen landen voortbouwen op reeds bestaand werk en structuren, zoals bijvoorbeeld de Internationale Rivieren Commissies van Rijn en Maas. Solidariteit staat prominent genoemd in de richtlijn en landen kunnen niet meer zonder overleg maatregelen nemen tegen hoogwater als deze leiden tot een aanzienlijke toename van het overstromingsrisico in andere landen.

Naast deze aanpak op stroomgebiedniveau maken een integrale- en veiligheidsketenaanpak onderdeel uit van de Richtlijn. Dat betekent bijvoorbeeld dat naast aandacht voor preventie ook crisisbeheersing en nazorg aandacht moeten krijgen. Het geven van ruimte aan rivieren is ook een belangrijk element.

De richtlijn schrijft onder andere de volgende resultaten voor:

- 1 Overstromingsgevaar en overstromingsrisicokaarten: Voor de stroomgebieden moeten kaarten worden gemaakt die het overstromingsgevaar en overstromingsrisico weergeven. Voor verschillende scenario's worden gevarenkaarten gemaakt met daarop:
  - a) de omvang van de overstroming,
  - b) de waterdiepte of waterniveau en
  - c) de stroomsnelheid of het waterdebiet indien van toepassing.
 De overstromingsrisicokaarten moeten een beeld geven van gevolgen van overstromingen in termen van
  - a) het aantal potentieel getroffen inwoners;
  - b) het type economische bedrijvigheid van het potentieel getroffen gebied;
  - c) de installaties als bedoeld in bijlage I bij Richtlijn 96/61/EG ter preventie van een incidentele verontreiniging door een overstroming
  - d) andere informatie die de lidstaat nuttig acht, zoals de vermelding van gebieden waar overstromingen met een groot gehalte aan vervoerde sedimenten alsook puinstromen kunnen voorkomen, alsmede informatie over andere belangrijke bronnen van vervuiling.
- 2 Overstromingsrisicobeheerplannen: In deze plannen worden door de lidstaten adequate doelstellingen vastgelegd voor het beheer van de overstromingsrisico's. De plannen bevatten maatregelen die genomen moeten worden om de doelstellingen te verwezenlijken, rekening houdend met kosten en baten. De Richtlijn legt hierbij speciale nadruk op preventie, bescherming en paraatheid, en systemen voor de voorspelling van en de vroegtijdige waarschuwing voor overstromingen.

De Richtlijn moet uiterlijk 2009 in nationale wetgeving worden omgezet, waarna de Richtlijn per stroomgebied verder zal worden gecoördineerd. De voorlopige risicobeoordeling, de eerste inventarisaties van het gevaar voor overstromingen in uiterwaarden en kustgebieden moeten in 2011 klaar zijn. De overstromingsgevaar- en risicokaarten dienen eind 2013 gereed te zijn. Gebieden waar verhoogde risico's bestaan voor overstromingen moeten ook in 2013 in kaart gebracht zijn. In 2015 moeten dan de stroomgebiedsbeheersplannen voor deze gebieden ontwikkeld zijn en in werking kunnen treden. Afstemming op de Kaderrichtlijn Water (KRW) is hierbij een voorwaarde. De plannen dienen op stroomgebiedniveau te worden gecoördineerd, dus in veel gevallen door een aantal lidstaten gezamenlijk. De internationale commissies voor de Rijn en de Maas spelen hierbij een belangrijke rol (ED, 2008).

Om te voldoen aan de richtlijn is waarschijnlijk geen nieuwe hoogwateraanpak nodig, maar moeten de bestaande wijze van hoogwaterbescherming en de bestaande plannen voor hoogwatermaatregelen in hun samenhang beschreven worden. De Hoogwaterrichtlijn heeft een duidelijk raakvlak met de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier (PKB), die bepaalt waar langs de grote rivieren maatregelen nodig zijn om bij topafvoeren voldoende water te kunnen bergen of verwerken (dijkverleggingen, aanleg van nevengeulen en dergelijke) (ED, 2008).

# Kwetsbaarheid: Effecten van lange termijn veranderingen

In dit hoofdstuk worden waterveiligheidseffecten beschreven onder aanname van een aantal lange termijn ontwikkelingen. Om de gevoeligheden van deze effecten te kwantificeren gebeurt dit onder de aanname dat er geen extra maatregelen worden getroffen (eerder in dit rapport “Nul Referentie” genoemd). Deze aanname is weliswaar zeer onwaarschijnlijk maar van belang om een indruk te krijgen van de bandbreedte van effecten.

Er is aan de hand van een aantal indicatoren bekeken wat de effecten zijn van lange termijn ontwikkelingen zoals klimaatverandering. Het AVV project heeft in een aparte workshop bekeken wat de belangrijkste indicatoren zijn met betrekking tot de kwetsbaarheid van Nederland ten aanzien van overstromingen (Annex 2). Op basis hiervan is een selectie gemaakt van indicatoren die gebruikt kunnen worden in kwantitatieve effectanalyses. Gekozen is voor de volgende indicatoren:

- de kans op een overstroming;
- de potentiële schade als gevolg van een overstroming;
- het schaderisico (kans \* schade);
- het potentieel aantal slachtoffers;
- globale schatting van de omvang van de wateroverlast.

Er is een groot aantal processen die niet direct met veiligheid te maken hebben zoals zoute kwel, openbarsten van veenpakketten door kweldruk, ruimtelijke kwaliteit en andere effecten. Hierop wordt in deze studie niet ingegaan. Dit is wel uitvoerig gedaan in bijvoorbeeld Klijn et al. (2007) en verschillende studies van onder andere het ministerie van Verkeer en Waterstaat.

## 4.1 Definities van kwetsbaarheid

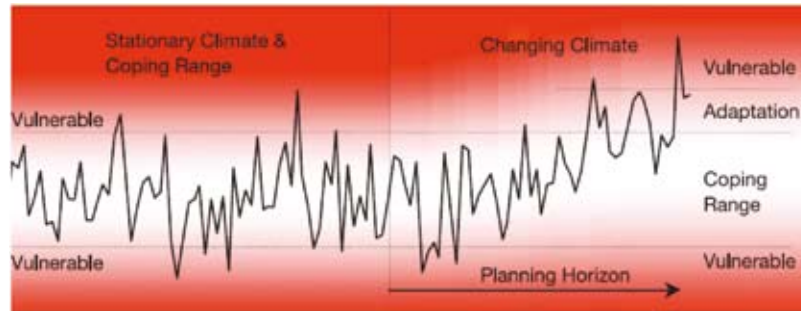
De keuze voor deze indicatoren is enigszins arbitrair. Er zijn namelijk erg veel definities van kwetsbaarheid (“vulnerability”) in de wetenschappelijke literatuur. Vaak wordt deze gebruikt in combinatie met definities voor “veerkracht” (“Resilience”) van een systeem of adaptieve capaciteit (“Adaptive capacity”). Daarbij rijst dan de vraag over welk systeem er wordt gesproken. Is dat het fysieke systeem, bijvoorbeeld het watersysteem met al haar hydrologische processen en kringlopen? Gaat het om het waterbeheerssysteem, waarbij de waterbeheerder met ingrepen het natuurlijk systeem reguleert? Of gaat het om de combinatie van beide? Een brede discussie over dit onderwerp was niet mogelijk; binnen AVV, dat zou een studie op zichzelf zijn. Wel wordt in deze paragraaf aan de hand van een aantal bestaande voorbeelden uit de laatste IPCC rapporten (2001, 2007) getoond wat de belangrijkste ingrediënten zijn om kwetsbaarheid te bepalen (met een focus op waterveiligheid) en waar nog belangrijke hiaten liggen met betrekking tot “kwetsbaarheid van Nederland” en lange termijn veranderingen. Getracht is kort uit te leggen waarom bepaalde keuzes zijn gemaakt.



Het IPCC (2007) geeft aan hoe kwetsbaarheid en adaptatie zich tot elkaar verhouden (Figuur 4.1). Deze figuur laat zien dat het huidige systeem een aanpassingsvermogen heeft (coping range) die is ingesteld op de huidige klimaatvariabiliteit. Het systeem is kwetsbaar als het klimaat buiten de range komt (vulnerability). Door extra adaptatie maatregelen (zowel fysiek als beleidsmatig) kan de coping range worden vergroot en wordt de drempel ("threshold") waarboven een systeem kwetsbaar wordt verhoogd (IPCC, 2007).

**FIGUUR 4.1**

Voorstelling van huidige aanpassingsvermogen (Coping range), adaptatie en de drempelwaarde waarover een systeem kwetsbaar wordt (bron: IPCC, 2007).



Eerder heeft het IPCC (2001) de volgende definitie voor kwetsbaarheid gedefinieerd:  
 Kwetsbaarheid = f (blootstelling, gevoeligheid, adaptieve capaciteit)

Hierbij is blootstelling het simpele gegeven of een systeem onderhevig is aan veranderingen. Zo zijn er gebieden aan te wijzen waar bijvoorbeeld klimaatverandering waarschijnlijk minimale effecten teweeg zal brengen. De gevoeligheid van een systeem heeft te maken met systeemprocessen en hoe een systeem reageert op een bepaalde verandering. Een koraalsysteem is bijvoorbeeld gevoeliger voor een stijging van zeewatertemperatuur dan een systeem van zeegrassen. Dat wil zeggen, het koraalsysteem zal sneller een reactie tonen en waarschijnlijk ook eerder afsterven. Voor adaptieve capaciteit van een systeem hanteert het IPCC (2001) de volgende definitie:

“Adaptive capacity is the ability of a system to adjust to climate change (including climate variability and extremes) to moderate potential damages, to take advantage of opportunities, or to cope with the consequences.”

Hierbij gaat het dus om de capaciteit van een systeem om zich aan te passen aan zowel extreme als trendmatige klimaatverandering.

## Gevoeligheid van het fysieke watersysteem

In veel water en klimaat gerelateerde studies wordt het fysieke watersysteem bestudeerd. Het gaat dan om het beschrijven van de belangrijkste water gerelateerde processen (water kwaliteit en water kwantiteit) die vervolgens in simulatiemodellen worden gebracht. Het simulatiemodel (bijvoorbeeld een hydrologisch of hydrodynamisch model) wordt zo opgezet dat het de huidige waterprocessen zoals rivierafvoeren of waterstanden adequaat beschrijft. Hierbij zijn metingen van klimaatparameters en (temperatuur, neerslag, verdamping, etc.) alsmede gegevens over historische afvoeren en waterstanden van groot belang. Zonder deze gegevens kan een model immers niet worden gecalibreerd en gevalideerd.

Om uiteindelijk de effecten van klimaatverandering te bepalen voor het fysieke watersysteem worden meteorologische randvoorwaarden voor een toekomstige situatie gebruikt. Deze randvoorwaarden worden gevat in klimaatscenario's en dienen als input voor bijvoorbeeld een hydrologisch model. Op deze manier kan er een toekomstige waterstand of afvoer worden bepaald onder een bepaald klimaatscenario. De verandering die wordt gesimuleerd ten opzichte van de huidige omstandigheden is het toekomstige klimaateffect; mits dit klimaatsignaal boven de ruis van de huidige klimaatvariatie uitkomt. Een groot effect is bijvoorbeeld een verandering waarbij een verhoging van de afvoer ver boven de ruis van de huidige afvoeren uitkomt (bijvoorbeeld meer dan 2x de huidige standaard deviatie).

Volgens deze aanpak zou er ook een idee kunnen ontstaan over de gevoeligheid van een systeem. Men zou kunnen redeneren dat als het klimaat sterk verandert, maar de gesimuleerde afvoeren niet, het systeem niet gevoelig is. Een gebied waarin de buffercapaciteit van de bodem hoog is zou bijvoorbeeld langzamer reageren op een toename in neerslag en laat waarschijnlijk een minder sterke piektoename zien bij stijgende neerslaghoeveelheden in vergelijking met gebieden met een snelle oppervlakkige afstroming.

## Kwetsbaarheid van het sociaal economisch systeem

De vraag is nu of een toekomstige verandering in het fysieke systeem de enige verandering is waar we naar op zoek zijn. Uiteindelijk gaat het immers om hoe toekomstige effecten van veranderingen in het fysieke systeem hun uitwerking hebben op maatschappelijk –economische sectoren. Een toename in overstromingen in een onbewoond moerasgebied wordt niet direct als nadelig ervaren (misschien zelfs als een verrijking). Eenzelfde toename in overstromingen in een dicht bevolkt gebied juist wel.

De kwetsbaarheid van het sociaal economisch systeem wordt dan bepaald door de mate van verandering in het systeem als we niets zouden doen in combinatie met de reductie in kwetsbaarheid wanneer we adaptatie maatregelen nemen. Over de eerste term, mate van verandering, kan opgemerkt worden dat het beoordelen in hoeverre iets als kwetsbaar wordt ervaren zeer subjectief is. Als bijvoorbeeld door 10% toename in neerslag de rivierafvoer met 8% toeneemt waardoor het overstromingsrisico (kans \* gevolg) in een bepaald gebied met 15% toeneemt, dan is de kwetsbaarheid afhankelijk van hoe dit is gedefinieerd in bijvoorbeeld beleid en wat de perceptie van bijvoorbeeld de bewoners van een gebied ten aanzien van overstromingsrisico's is.

Het succes van de tweede term, adaptatie maatregelen, is afhankelijk van het potentieel aan maatregelen, wat ter beschikking staat en de bestuurlijke slagkracht om deze maatregelen ook daadwerkelijk te implementeren. Dit wordt ook wel gevat onder de noemer "adaptieve capaciteit". Adaptieve capaciteit is onder andere afhankelijk van kennis en budget maar ook van de institutionele setting om de maatregelen ook daadwerkelijk uit te voeren. Uiteraard heeft het natuurlijk systeem ook een bepaald reactievermogen zoals in een aantal studies terecht wordt gesteld en er is alle reden om dat systeem zo goed mogelijk te begrijpen. Echter, feitelijk is de werking van het natuurlijk watersysteem slechts het uitgangspunt voor beleidsmakers bij het formuleren van maatregelen. Het is minstens zo belangrijk te weten welke maatregelen er bestaan

om het reactievermogen of herstelvermogen van het fysieke systeem te bevorderen en welke bestuurlijke en financiële randvoorwaarden er nodig zijn deze maatregelen te ontwikkelen en te implementeren.

## Effect op het sociaal economisch systeem

Binnen AVV is daarom in Hoofdstuk 4 en 7 gekozen om de mate van effect op het sociaal economisch systeem te kwantificeren middels een aantal indicatoren. De focus van het project is “de veiligheid ten aanzien van overstromingen”, waardoor is besloten de eerder genoemde indicatoren te gebruiken. Deze indicatoren worden zowel nationaal als internationaal gehanteerd (zie ook paragraaf 3.3). Zoals gezegd is dit geen uitputtende lijst en in een vervolgfase van dit project moet deze lijst ook verder worden verfijnd en uitgewerkt.

Om het risico (kans \* schade) te bepalen is ook de kans op overstroming van bijvoorbeeld een dijkkring nodig. Deze kans wordt enerzijds bepaald door de sterkte van de waterkeringen rond de dijkkring en anderzijds door de kracht van de aanval op deze keringen vanuit het buitenwater (afvoeren, golfhoogten, waterstanden). Extreme aanvalscondities doen zich niet vaak voor, ofwel hebben een kleine kans van voorkomen. In Nederland wordt de norm voor een kering uitgedrukt in overschrijdingskansen. Een waterkering moet minstens bestand zijn tegen een aanval vanuit het buitenwater onder omstandigheden die zich met deze kans voordoen (maatgevende omstandigheden). Hoe kleiner de overschrijdingskans, hoe heftiger de maatgevende condities, hoe sterker de betreffende kering, hoe lager de overstromingskansen.

Binnen AVV is gebruik gemaakt van (deels bestaande-) simulaties van rivierafvoeren, golfhoogtes en waterstanden zowel voor de huidige klimaatsituatie als onder het toekomstig klimaat. Als in de toekomst bepaalde waarden van deze fysieke parameters vaker voorkomen, stijgt hun kans van voorkomen. Om de overschrijdingskansen te kunnen handhaven moeten dus zwaardere eisen aan waterkeringen worden gesteld. Binnen AVV wordt verondersteld dat de verhoudingen tussen overschrijdingskansen en overstromingskansen niet zullen wijzigen.

Het potentieel aantal slachtoffers en de potentiële economische schade is voor een groot deel afhankelijk van waar mensen wonen en waar economische activiteit plaatsvindt. Deze informatie wordt afgeleid uit landgebruikkaarten voor zowel de huidige situatie als een toekomstige situatie waarin landgebruik is aangepast als gevolg van demografische als economische ontwikkelingen (zie Hoofdstuk 2).

## 4.2 De kans op een overstroming

Binnen het project AVV is vooralsnog alleen naar de overschrijdingskans van de waterstand gekeken (Sprong en Aerts, 2008). Hierbij gaat het om de relatieve veranderingen in overschrijdingskansen op de lange termijn onder invloed van klimaatveranderingen. Het gaat dus niet zozeer over wat de precieze kans is op dit moment of in de toekomst.

Binnen AVV is aangenomen dat in het uitgangsjaar 2015 het watersysteem onder de huidige wet op de waterkering (wetten.nl, 2008) op orde is en dat de problemen met o piping zijn opgelost. Bovendien wordt verondersteld dat alle keringen op orde zijn en voldoen aan de huidige normering. Verder is ervan uitgegaan dat de maatregelen voor de zwakke schakels langs de kust en de Maaswerken en PKB Ruimte voor de Rivier zijn uitgevoerd.

Om de invloed van klimaatverandering op de overschrijdingskans te kunnen bepalen is gebruik gemaakt van de zogenaamde 'decimeringshoogte'. De decimeringshoogte is het waterstandsverschil, waarbij de kans een factor 10 toe of afneemt. Anders gezegd, een waterstand die een decimeringshoogte lager ligt dan de huidige maatgevende waterstand komt tienmaal vaker voor dan die maatgevende waterstand.

Wat nu als door bijvoorbeeld zeespiegelrijzing de waterstanden met één decimeringshoogte worden verhoogd? Ruwweg heeft dit tot gevolg dat de huidige maatgevende waterstand tienmaal vaker wordt overschreden, ofwel de veiligheid neemt sterk af. Met behulp van de decimeringshoogte kan zo per dijkkring de toekomstige overschrijdingskans onder verschillende klimaatscenario's worden bepaald onder de aanname dat er geen aanvullende maatregelen ten opzichte van het basisjaar 2015 worden uitgevoerd. Let wel: De decimeringshoogten per dijkkring worden constant verondersteld voor elk zeespiegelstijgingsscenario. Echter, het gebruik van decimeringshoogten bij zeespiegelstijgingsscenario's van meer dan 1-1,5 m is nog niet goed onderzocht en is waarschijnlijk omgeven met enige onzekerheid.

### Onzekerheid door golfoverslag

Belangrijk is te realiseren dat de decimeringshoogte voor de dijkhoogte substantieel groter kan zijn als naast de waterstand ook rekening wordt gehouden met golfoploop. Dit houdt verband met het feit dat de dijkhoogte wordt bepaald door de waterstand + de golfoploop. Ook hierbij geldt weer dat dit sterk afhankelijk is van de locatie. Dit zal echter verder worden uitgewerkt in het project WV21 (VenW, 2006b).

Ook is de decimeringshoogte niet overal hetzelfde en daarom is er per dijkkring een hoogte vastgesteld. Het globale beeld ten aanzien van de decimeringshoogte en de daaruit afgeleide kansen is als volgt:

## Bovenrivierengebied

Een eerste indruk kan worden verkregen door naar de decimeringsafvoer (toename in afvoer die een waterstandsverhoging van één decimeringshoogte tot gevolg heeft) van Rijn en Maas te kijken. De decimeringsafvoer van de Rijn bedraagt circa 3.000 m<sup>3</sup>/s en voor de Maas circa 800 m<sup>3</sup>/s. De huidige maatgevende afvoer voor de Rijn (ook relevant voor het uitgangsjaar 2015) is 16.000 m<sup>3</sup>/s. In de klimaatscenario's voor 2100 wordt uitgegaan van 18.000 m<sup>3</sup>/s. Dit is dus een stijging van 2.000 m<sup>3</sup>/s. Uitgaande van een decimeringsafvoer van 3.000 m<sup>3</sup>/s betekent dit dat de overschrijdingskansen met ongeveer een factor 6 toeneemt van 1/1250 (huidige norm, Figuur 1) naar circa 1/250. Voor de Maas is de huidige maatgevende afvoer 3.800 m<sup>3</sup>/s. In de klimaatscenario's voor 2100 is uitgegaan van 4.600 m<sup>3</sup>/s. Dit betekent dat de kans met circa een factor 10 toeneemt naar 1/125 (zie Tabel 4.1).

**TABEL 4.1**  
Globale verandering in overschrijdingskansen in het bovenrivierengebied.

Zeespiegelstijging	<85 cm	<85 cm		<85 cm	<85 cm
<b>Rijnafvoer</b>	16.700 m <sup>3</sup> /s	18.000 m <sup>3</sup> /s	<b>Maasafvoer</b>	4.150 m <sup>3</sup> /s	4.600 m <sup>3</sup> /s
Overschrijdingskansen	circa 1/700	circa 1/250		1/500	1/125

Deze schatting van de toenamefactor is waarschijnlijk redelijk zolang de zeespiegelstijging niet te groot is en dus de invloed van het getij in het bovenrivierengebied niet te groot is. Echter, bij een scenario met een zeespiegelstijging van 5 m nemen ook in het bovenrivierengebied de waterstanden sterk toe.

**FIGUUR 4.2**  
Dijkringen met normeringniveau  
(bron: DWW 2005).



## Kust

Ook langs de kust varieert de decimeringshoogte. Een eerste indruk van de verandering in overschrijdingskansen kan worden verkregen door uit te gaan van 70 cm. Een zeespiegelstijging van bijvoorbeeld 150 cm is dus circa tweemaal de decimeringshoogte ofwel de overschrijdingskans neemt een factor 100 toe. Dit betekent dat als de huidige overschrijdingskans van de maatgevende waterstand 1/10.000 is, deze bij een zeespiegelstijging van 150 cm stijgt naar 1/100 (Tabel 4.3).

TABEL 4.3

Globale verandering overschrijdingskansen langs de kust.



Zeespiegelstijgingsscenario	24 cm	60 cm	85 cm	150 cm	500 cm
Factor bij een decimeringshoogte van 70 cm	2	7	15	100	$1 \cdot 10^7$

## IJsselmeergebied

De decimeringshoogte voor de waterstand van het IJsselmeer (ten noorden van de Houtribdijk) varieert per locatie. Uitgegaan is van 40 cm. Bij een stijging van de zeespiegel met 150 cm, stijgt het peil van het IJsselmeer met circa 120 cm. Deze stijging van 120 cm is 3 maal 40 cm, dus driemaal de decimeringshoogte. De overschrijdingskans van de waterstand neemt hierdoor toe met een factor 1.000. In de huidige situatie is de overschrijdingskans 1/4.000 (huidige norm). Dat wordt dus bij een zeespiegelstijging van 60 cm circa 1/1000. Bij een zeespiegelstijging van 150 cm wordt de overschrijdingskans zelfs 1/4 (zie Tabel 4.4).

67

TABEL 4.4

Globale verandering overschrijdingskansen in het IJsselmeergebied.



Zeespiegelstijgingsscenario	24 cm	60 cm	85 cm	150 cm	500 cm
Stijging Maatgevend IJsselmeerpeil (cm)	0	23	48	120	470
Factor bij een decimeringshoogte van 40 cm	1	4	15	1000	$1 \cdot 10^{10}$

## Benedenrivierengebied

In het benedenrivierengebied zijn de berekeningen veel complexer. Hier zorgen stormen op zee in combinatie met hoge rivierafvoeren voor hoge waterstanden. Verder beïnvloeden de stormvloedkeringen de situatie. In het randvoorwaardenboek (VenW, 2006) is voor de verschillende locaties in het benedenrivierengebied het toetspeil (maatgevende waterstand) vastgelegd uitgaande van de (overschrijdings-) norm van de desbetreffende dijkkring. Dit toetspeil is bepaald op basis van een zeer groot aantal combinaties van Rijnaafvoer en storm op zee. In de berekening van de AVV Business as Usual oplossingsrichting (zie Hoofdstuk 6) (Sprong, 2008) wordt per klimaatscenario de verhoging van de maatgevende hoogwaterstand gegeven op verschillende locaties. Daarbij is steeds gebruik gemaakt van hetzelfde modelinstrumentarium. Voorbeeld: Het huidige toetspeil bij Rotterdam (Dijkkring 14) is +3,4 m. Onder een zeespiegelstijgingsscenario van +1,5 m (2100) zal de stijging bij Rotterdam uitgaande van de huidige sluitingsoplossingsrichting van de Maeslantkering circa 1,2 m bedragen. De maatgevende waterstand in 2100 is dan  $3,4 + 1,2 = +4,6$  m.

Om uit de veranderingen in waterstanden overschrijdingskansen te berekenen zijn wederom decimeringshoogten nodig. Uitgegaan is van hogere waarden dan de gebruikelijke. Deze zijn in de huidige situatie voor een aantal locaties, door de invloed van de Maeslantkering, erg laag. Op basis van berekeningen voor het scenario met een stijging van de zeespiegel van +1.50 m en een Rijnafvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s zijn voor enkele locaties in het benedenrivierengebied overschrijdingsfrequentielijnen berekend. Op grond hiervan is onder andere voor Rotterdam een decimeringshoogte van 50 cm bepaald. In het algemeen geldt dat voor het benedenrivierengebied een decimeringshoogte van circa 50 cm een redelijke aanname lijkt.

## Resultaat

De voorgaande benadering is voor alle dijkringen toegepast voor de verschillende zeespiegelstijgingsscenario's en de scenario's voor rivierafvoer (zie Hoofdstuk 2, Tabel 2.5). Tabel 4.5 geeft hiervan een beeld en laat zien wat de verandering is in overschrijdingskansen als er geen aanvullende maatregelen worden getroffen. Dit is uiteraard zeer onwaarschijnlijk en in strijd met de wet. Let wel: in de tabel staat 1/overschrijdingskansen. Dus bijvoorbeeld 1000 betekent dat de kans dat de huidige maatgevende waterstand wordt overschreden 1/1000 bedraagt.

TABEL 4.5

Indicatie van de verandering van de overschrijdingskansen voor de diverse dijkringen.



			OVERSCHRIJDINGSKANS										Factor	
			Rijn / Maas m³/s										Rijn / Maas m³/s	
			16700	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
			4150	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600
			ZEESPIEGELSTIJGING										ZEESPIEGELSTIJGING	
			24 cm	60 cm	85 cm	150 cm	500 cm	24 cm	60 cm	85 cm	150 cm	500 cm		
No.	Dijkkring	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P							
		D-hoogte												
1	Schiermonnikoog	2000	662	126	40	2	1	3	16	50	1000	10000000000		
2	Ameland	2000	662	126	40	2	1	3	16	50	1000	10000000000		
3	Terschelling	2000	855	239	98	10	1	2	8	20	203	49238826		
4	Vlieland	2000	662	126	40	2	1	3	16	50	1000	10000000000		
5	Texel	4000	1325	252	80	4	1	3	16	50	1000	10000000000		
6	Friesland en Groningen	4000	1325	252	80	4	1	3	16	50	1000	10000000000		
7	Noordoostpolder	4000	4000	1064	252	4	1	1	4	16	1000	562341325190		
8	Flevoland	4000	4000	1064	252	4	1	1	4	16	1000	562341325190		
9	Vollenhove	1250	1250	333	79	1	1	1	4	16	1000	562341325190		
10	Mastenbroek	2000	747	146	132	79	1	3	14	15	25	42388		
11	IJsseldelta	2000	783	149	127	61	1	3	13	16	33	159627		
12	Wieringen	4000	1325	252	80	4	1	3	16	50	1000	10000000000		
13	Noord-Holland	10000	4273	1194	492	49	1	2	8	20	203	49238826		
14	Zuid-Holland	10000	5012	1778	866	133	1	2	6	12	75	1778279		
15	Lopiker- en Krimpenerwaard	2000	632	111	80	7	1	3	18	25	296	161401722		
16	Alblaswaard/ Vijfth.landen	2000	957	299	184	15	1	2	7	11	138	661278824		
17	IJsselmonde	4000	2524	625	311	8	1	2	6	13	514	5138858586		
18	Pernis	10000	6918	3196	1492	36	1	1	3	7	279	2790566059		
19	Rozenburg	10000	6918	3196	1492	36	1	1	3	7	279	2790566059		



TABEL 4.5



		OVERSCHRIJDINGSKANS										Factor		
		Rijn / Maas m³/s										Rijn / Maas m³/s		
		16700	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
		4150	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600
		ZEESPIEGELSTIJGING										ZEESPIEGELSTIJGING		
		24 cm	60 cm	85 cm	150 cm	500 cm	24 cm	60 cm	85 cm	150 cm	500 cm	85 cm	150 cm	500 cm
No.	Dijkkring	1 / P	D-hoogte	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P
20	Voorne-Putten	4000	70	1816	556	244	29	1	2	7	16	139	13894955	
21	Hoeksche Waard	2000	45	928	158	58	2	1	2	13	35	1147	68734015605	
22	Eiland van Dordrecht	2000	50	1002	201	88	3	1	2	10	23	583	5834451043	
23	Biesbosch	2000	50	1002	201	88	3	1	2	10	23	583	5834451043	
24	Land van Altena	2000	60	632	95	75	12	1	3	21	27	164	14761381	
25	Goeree-Overflakkee	4000	70	1816	556	244	29	1	2	7	16	139	13894955	
26	Schouwen Duiveland	4000	65	1709	478	197	20	1	2	8	20	203	49238826	
27	Tholen en St. Philipsland	4000	65	1709	478	197	20	1	2	8	20	203	49238826	
28	Noord Beveland	4000	65	1709	478	197	20	1	2	8	20	203	49238826	
29	Walcheren	4000	65	1709	478	197	20	1	2	8	20	203	49238826	
30	Zuid Beveland west	4000	65	1709	478	197	20	1	2	8	20	203	49238826	
31	Zuid Beveland oost	4000	65	1709	478	197	20	1	2	8	20	203	49238826	
32	Zeeuwsch Vlaanderen	4000	65	1709	478	197	20	1	2	8	20	203	49238826	
33	Kreekrakpolder	4000	50	4000	1233	512	21	1	1	3	8	191	1905460718	
34	West-Brabant	2000	50	1002	204	85	3	1	2	10	24	575	5754399373	
34,1	Geertruidenberg	2000	60	928	196	120	10	1	2	10	17	210	82224265	
35	Donge	2000	60	632	92	77	13	1	3	22	26	152	8832252	
36	Land v Heusden/Mskant	1250	70	466	82	78	63	4	3	15	16	20	352	
37	Nederhemert	1250	75	498	79	68	31	1	3	16	18	40	29286	

			OVERSCHRIJDINGSKANS										Factor		
			Rijn / Maas m³/s										Rijn / Maas m³/s		
			16700	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000
			4150	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600
			ZEESPIEGELSTIJGING										ZEESPIEGELSTIJGING		
			24 cm	60 cm	85 cm	150 cm	150 cm	500 cm	24 cm	60 cm	85 cm	150 cm	500 cm	150 cm	500 cm
No.	Dijkkring	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P	1 / P							
38	Bommelerwaard	1250	498	87	80	53	1	3	14	16	23	5617			
39	Alem	1250	466	87	84	67	1	3	14	15	19	1301			
40	Heerwaarden	500	186	35	33	26	1	3	14	15	19	720			
41	Land van Maas en Waal	1250	466	90	89	87	18	3	14	14	14	68			
42	Ooij en Millingen	1250	609	224	222	222	222	2	6	6	6	6			
43	Bet.TielCul.-rwaarden	1250	609	224	219	187	11	2	6	6	7	116			
44	Kromme Rijn	1250	789	387	362	252	23	2	3	3	5	55			
45	Gelderse Vallei	1250	676	269	269	179	54	2	5	5	7	23			
46	Eempolder	1250	1250	333	79	1	1	1	4	16	1000	562341325190			
47	Arnhemse- en Velpsebroek	1250	676	269	269	269	269	2	5	5	5	5			
48	Rijn en IJssel	1250	527	167	167	167	167	2	7	7	7	7			
49	IJsselland	1250	636	230	230	229	199	2	5	5	5	6			
50	Zutphen	1250	624	219	219	217	159	2	6	6	6	8			
51	Gorsel	1250	625	219	219	214	121	2	6	6	6	10			
52	Oost Veluwe	1250	627	223	220	218	70	2	6	6	6	18			
53	Salland	1250	626	222	217	197	30	2	6	6	6	42			

## 4.3 Schade en slachtoffers als gevolg van een overstroming

### Methode voor het berekenen van de potentiële schade

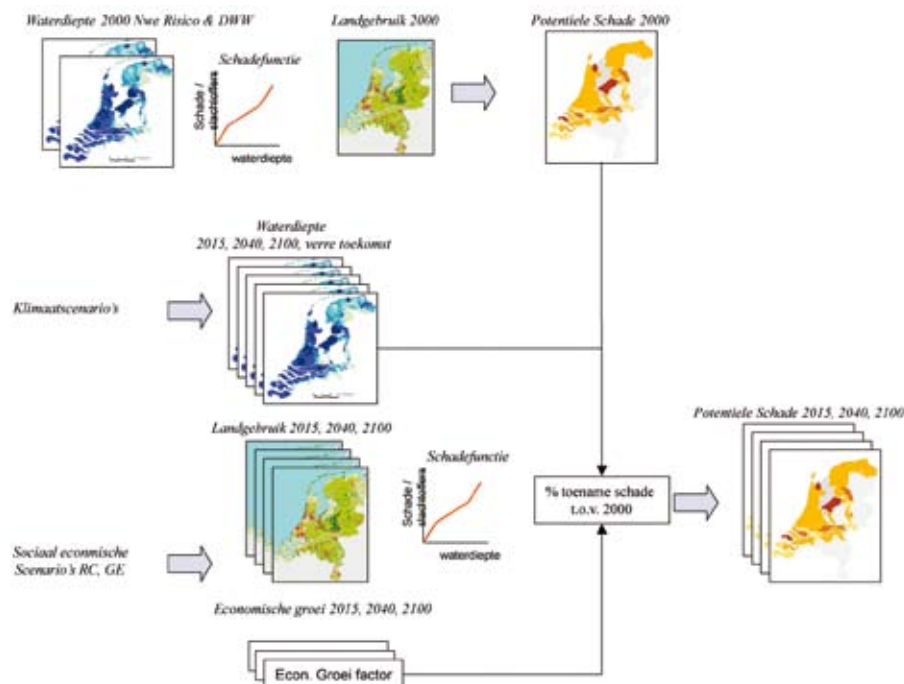
De mogelijke gevolgen van een overstroming worden globaal in twee stappen bepaald. Allereerst moet een beeld worden verkregen van de mogelijke waterdieptes en stijgsnelheden die bij een overstroming kunnen optreden en de tijd die er is tussen doorbraak en overstroming (het overstromingspatroon). Hiervoor worden bestaande simulaties van overstromingen en worden “representatieve” dijkdoorbraaksituaties geselecteerd die samen een beeld geven van de mogelijke gevolgen van een overstroming van een dijkkring (Zie bijvoorbeeld het project VNK in DWW, 2005). In een tweede stap wordt op basis van deze gegevens de bij het overstromingspatroon behorende schade en het aantal slachtoffers bepaald met behulp van modellen. De resulterende schade- en slachtoffergetallen worden gebruikt voor het bepalen van het overstromingsrisico door de kans horend bij de gebruikte waterdiepte te vermenigvuldigen met de resulterende schade en het berekende aantal slachtoffers.

De hoeveelheid schade die een overstroming veroorzaakt, is ondermeer afhankelijk van de grootte van het ondergelopen gebied en de waterdiepte in het ondergelopen gebied. Ook de duur van de overstroming en de stroomsnelheid kunnen een rol spelen. Voor slachtoffers speelt ook de stijgsnelheid en de beschikbare tijd om te vluchten nog een rol. Omdat de stroomsnelheid meestal alleen lokaal (dicht bij een dijkdoorbraaklocatie) hoog genoeg is om significante schade te veroorzaken, is de invloed van de stroomsnelheid op de schade verwaarloosd. De waterdiepte wordt als de dominante factor beschouwd voor het optreden van schade en de stijgsnelheid wordt –analoog aan Klijn et al., 2007- niet meegenomen.

In Nederland wordt voor het schatten van de potentiële schades het Standaard Schade en Slachtoffermodel HIS-SSM van DWW gebruikt (Kok et al., 2005). Dit model berekent op basis van een opgegeven waterdieptekaart (en eventueel een opgegeven stroomsnelheid en stijgsnelheid) op gedetailleerde wijze de schade aan alle aanwezige objecten. Omdat het lastig is om het HIS-SSM te gebruiken voor snelle analyses van een reeks aan toekomstscenario's, waarvoor bovendien gedetailleerde informatie niet zomaar beschikbaar is, is een vereenvoudigd schademodel 'de damage-scanner' ontwikkeld (zie Klijn et al., 2007). Net als het HIS-SSM bepaalt de damage-scanner de overstromingsschade op basis van de waterdiepte. De damage-scanner gebruikt als invoer echter alleen een landgebruikskaart en geen detailinformatie over aantallen huizen, bedrijven, aantallen werknemers e.d. zoals het HIS-SSM wel doet. De damage-scanner is geijkt door de resultaten voor de huidige situatie te vergelijken met de resultaten van het HIS-SSM.

FIGUUR 4.3

Methode voor het berekenen van potentiële schade gebruikt in het model de damage-scanner.



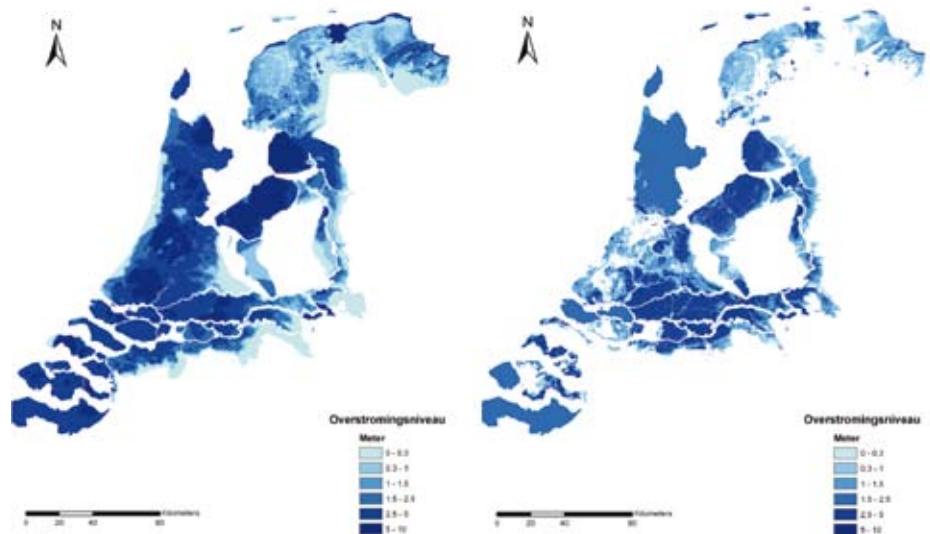
Voor het bepalen van de gevolgen van overstromingen is een aanpak gevolgd zoals afgebeeld in Figuur 4.3. Allereerst wordt de huidige schade bepaald. Vervolgens worden op basis van sociaal-economische scenario's toekomstige landgebruikskaarten gemaakt voor de jaren 2015, 2040 en 2100 (zie Hoofdstuk 2). Met behulp van klimaatscenario's worden voor dezelfde zichtjaren watersdiepte kaarten gemaakt (de Bruijn, 2008). Op basis hiervan kan, bij constante prijzen, de toekomstige potentiële schade per dijkkring berekend worden met de damage-scanner. Door de toekomstige schade te vergelijken met de huidige schade kan een toenamefactor worden bepaald. Deze factor wordt vermenigvuldigd met de huidige schade, bijvoorbeeld het "best estimate" uit Klijn et al. (2007).

Tenslotte wordt de invloed van economische groei meegenomen door de potentiële schades per zichtjaar te vermenigvuldigen met een macro-economische factor afgeleid uit de WLO toekomstscenario's (zie Hoofdstuk 2 en Klijn et al., 2007). We nemen hierbij aan dat het de toename in goederen, bezittingen en productie en diensten resulteert in een even zo grote toename van de overstromingsschade. Voor meer informatie over de werking van damage-scanner wordt verwezen naar De Bruijn (2008), Bubeck en Aerts (2008) en Klijn et al. (2007).

Binnen dit project zijn verschillende opties getest voor het bepalen van de potentiële schade. Er is gekozen om dezelfde methode te volgen als in Klijn et al. (2007). Het enige verschil is dat AVV heeft gerekend met de nieuwe risicokaart (Min BZK, 2008) in plaats van de DWW diepte kaart. (Zie Figuur 4.4).

**FIGUUR 4.4**

Verskil in maximale overstromingsdiepte zoals bepaald in de DWW dieptekaart (DWW, 2003; links) en de nieuwe waterdieptekaart (Min BZK, 2008; rechts). Voor de ontbrekende dijkkringen wordt een uniforme diepte van 2 m aangehouden omdat de nieuwe dieptekaart hierover nog geen informatie bevat (stand: April 2008).



Het gebruik van de DWW-kaart geeft een overschatting van de potentiële schade. Door inundatieberekeningen hebben we het inzicht gekregen dat met name voor de grote dijkkringen het overstroomde gebied kleiner is en ook dat de maximale waterdiepte geringer is. Met de DWW dieptekaart wordt de totale potentiële schade ongeveer 800 miljard euro (Tabel 4.6). Klijn et al. (2007) hebben hiermee rekening gehouden en komt tot een “Best Estimate” van 190 miljard. De (nog niet volledige) nieuwe waterdieptekaart benadert het beter maar geeft alleen de maximale overstromingen weer. Het “best estimate” van Klijn et al. (2007) wordt daarom in deze studie aangehouden als referentie voor het jaar 2000.

De nieuwe risicokaart geeft, voor alle duidelijkheid, niet het (schade)risico weer maar presenteert de maximale waterdiepte. Het is daarom in de terminologie van de EU-richtlijn (paragraaf 3.4) een gevarencarta.

## Resultaat

Tabel 4.6 geeft de huidige potentiële schade (jaar 2000) aan, zoals die in verschillende studies is berekend. Hieruit blijkt dat de verschillen groot zijn. Zo wordt door Klijn et al. (2007) via de “best estimate” methode de totale potentiële schade voor alle dijkkringen samen ingeschat op ongeveer 190 miljard euro. Als dit wordt doorgetrokken naar 2015 komen we uit op een potentiële schade in 2015 van 242 miljard euro.

De verschillen tussen de schattingen per studie variëren ook per dijkkring. Zo zijn de verschillen voor de grotere dijkkringen groter dan voor kleine dijkkringen. Hiervan zijn in Tabel 4.6 een paar voorbeelden gegeven. Met name de potentiële schade voor dijkkring 14 (Zuid-Holland) wordt verschillend en varieert van bijna 18,6 miljard in Klijn et al. (2007) tot 323 miljard in de berekening waarin gebruik is gemaakt van de DWW dieptekaart.

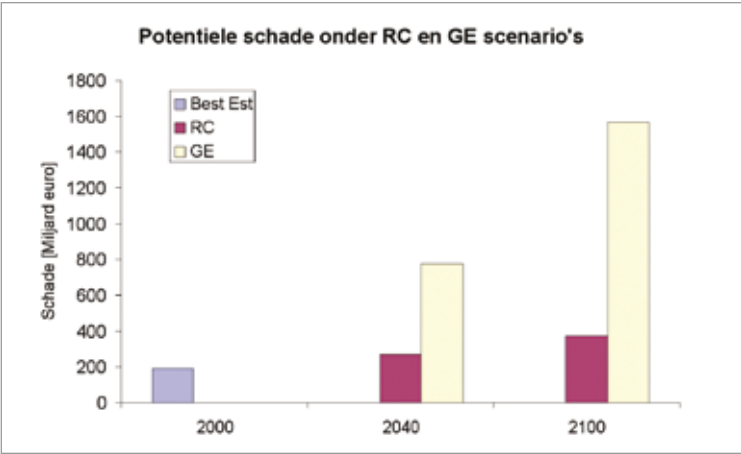
**TABEL 4.6** →  
 Vergelijking van huidige potentiële schades (jaar 2000) voor dijkringen 6, 14 en 43 en het totaal voor alle dijkringen volgens verschillende studies (in miljoen euro).

Dijkring	Best estimate (Klijn et al., 2007)	AVV Damage-scanner (DWW dieptekaart)	AVV Damage-scanner (Nieuwe dieptekaart)	HIS SSM (DWW diepte kaart)
	(miljoen euro)	(miljoen euro)	(miljoen euro)	(miljoen euro)
6 (Friestl. / Gron.)	600	80.532	10.851	77.830
14 (Zuid-Holland)	18.600	250.684	61.848	323.611
43 (Betuwe)	13.800	10.802	24.978	11.071
<b>Totaal</b>	<b>190</b>	<b>800</b>	<b>364</b>	<b>765</b>

Wanneer er van de DWW dieptekaart wordt uitgegaan en wanneer er geen aanvullende maatregelen worden genomen, dan zal de berekende potentiële schade door zeespiegelstijging niet toenemen. De hoogte van de dijken blijft immers gelijk waardoor ook de hoogte van het laagste deel van de dijk gelijk blijft en dus ook de maximale waterdiepte. Bij gebruik van de nieuwe dieptekaart ligt dat anders. Hier zal de potentiële schade door zeespiegelstijging wel toenemen omdat in veel dijkringen zowel het overstroomde oppervlak als de waterdiepte zal toenemen.

Er zijn verschillende schadeberekeningen gemaakt onder zeespiegelstijgingsscenario's tot +5 m zeespiegelstijging. Hierbij zijn de sociaal-economische ontwikkelingen voor 2100 aangehouden volgens de GE en RC scenario's. In Figuur 4.5 is te zien wat de relatieve invloed is van alleen de RC en GE scenario's op de schade ontwikkeling (dus zonder stijging van de zeespiegel). Als we bijvoorbeeld naar 2040 kijken dan is te zien dat het RC scenario een potentiële schade genereert van ongeveer 271 miljard euro en 777 miljard voor het GE scenario. Voor 2100 is dat 375 en 1568 voor respectievelijk het RC en GE scenario.

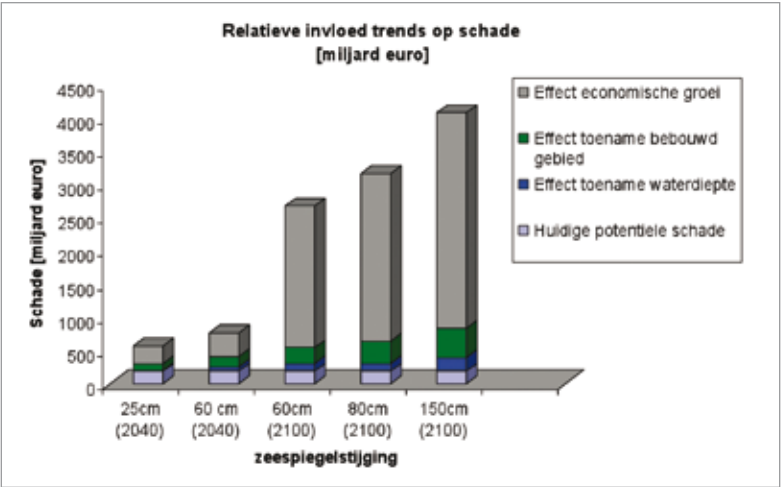
**FIGUUR 4.5** →  
 Relatieve invloed van het RC scenario en GE scenario op de schade ontwikkeling voor zowel 2040 als 2100.



Gezien de toename in onzekerheid voor de berekeningen op de hele lange termijn is in het bijzonder gekeken naar de relatieve invloed van verschillende factoren (economische groei, landgebruik verandering en zeespiegelstijging) op de schatting van het toekomstig schadepotentieel. Figuur 4.6 geeft deze berekeningen weer. Economische groei heeft de grootste invloed met name in de periode 2040-2100. Hoewel in dit voorbeeld wel het GE scenario is gebruikt met een relatief hoge economische groei, laat het RC scenario hetzelfde beeld zien. Na economische groei heeft landgebruikverandering en met name de toename in stedelijk gebied de grootste invloed op het totale potentiële schadeniveau. Echter, bij een zeespiegelstijging van 300 cm heeft de toename in waterdiepte weer een

grotere invloed dan de toename van het areaal stedelijk gebied. De figuur laat impliciet zien dat de projecties na 2040 met zeer grote voorzichtigheid beoordeeld dienen te worden: een kleine aanpassing in de mogelijke economische groei weegt zwaar in de schatting van de potentiële schade.

**FIGUUR 4.6** →  
Relatieve invloed van economische groei, landgebruikverandering (GE scenario) en waterdiepte op de totale potentiële schade.



De complexiteit van het juist inschatten van potentiële schade en de rol van macro-economische effecten wordt nog eens goed geïllustreerd aan de hand van Figuur 4.7. Hierin is te zien dat er in 2002 (dus vóór de ramp in New Orleans als het gevolg van orkaan Katrina in 2006) een schatting is gemaakt van de mogelijke schade die een orkaan zou aanrichten in New Orleans. Te zien is dat New Orleans op plaats 5 staat met een geschatte economische schade van 16,8 miljard US\$. Aan de rechterkant in de figuur wordt een economische schade geschat van ongeveer 81 miljard US\$ na de ramp met de orkaan Katrina. Dat is een factor 5 hoger.

**FIGUUR 4.7** →  
Schatting in 2002 van de totale economische voor de ramp van de Orkaan Katrina (bron: www.insure.com, 2008) en de schatting van de totale economische schade na de ramp (bron: Pielke jr, 2008).

### Top 10 worst places for an extreme hurricane to strike

Rank	Location	Possible insured losses*	Potential total economic losses**
1	Miami/Ft. Lauderdale, Fla.	\$61.3 billion	\$122.6 billion
2	New York City, N.Y.	\$26.5 billion	\$53 billion
3	Tampa/St. Petersburg, Fla.	\$25.1 billion	\$50 billion
4	Houston/Galveston, Texas	\$16.8 billion	\$33.6 billion
5	New Orleans, La.	\$8.4 billion	\$16.8 billion
6	Mobile, Ala.	\$6.0 billion	\$12 billion
7	Boston, Miss.	\$5.1 billion	\$10.2 billion
8	Biloxi/Gulfport, Miss.	\$5.1 billion	\$10.2 billion
9	Myrtle Beach, S.C.	\$4.3 billion	\$8.6 billion

Rank	Hurricane	Year	State	Category	U.S. billions \$
1	Greet Miami (6)	1926	FL-FL,AL	4-5	157.0
2	Katrina	2005	LA,MS	5	81.0
3	Galveston (1)	1900	TX	4	78.0
4	Galveston (2)	1915	TX	4	61.7
5	Andrew	1992	FL-LA	5-5	57.7
6	New England (4)	1938	CT,MA,NY,RJ	3	39.2
7	11	1944	FL	3	38.7
8	Lake Okeechobee (4)	1928	FL	4	33.6
9	Donna	1960	FL-NC,NY	4-5	29.6
10	Camille	1969	LA,MS	5	21.2

## Slachtoffers

Het verwachte verlies van mensenlevens als gevolg van overstromingen wordt beschouwd als een belangrijke indicator van de kwetsbaarheid ten aanzien van overstromingen. In het AVV onderzoek van Maaskant en Jonkman (2008) is naar verschillende methoden gekeken om het potentieel aantal slachtoffers van een overstroming te schatten. Vervolgens is in Maaskant et al. (2008) een keuze gemaakt voor het toepassen van een van deze methoden op de temporele ontwikkeling van slachtofferrisico voor Dijkkring 14. Dit gebied omvat een groot gedeelte van de provincie Zuid-Holland en heeft op dit moment ongeveer 3,6 miljoen inwoners. De analyses zijn gebaseerd op simulaties van verschillende scenario's van overstromingen en projecties van de ruimtelijke verdeling van de groei van de bevolking (zie ook project VNK: DWW, 2005).

De overstromingsscenario's zijn gebruikt in een slachtoffermodel waarbij gebruik is gemaakt van de volgende conceptuele benadering (zie Maaskant en Jonkman, 2008): het aantal dodelijke slachtoffers ( $N$ ) als gevolg van een overstroming wordt bepaald door het aantal slachtoffers ( $F_D$ ) en het aantal mensen die zijn blootgesteld aan de overstroming ( $N_{EXP}$ ):

$$N = F_D N_{EXP} \quad (1)$$

Zowel het aantal slachtoffers als blootstelling kan veranderen in de loop van de tijd en is dus van invloed op het aantal dodelijke slachtoffers als gevolg van overstromingen. Bijvoorbeeld, sterfte ( $F_D$ ) kan veranderen, omdat een bevolking steeds meer kwetsbaar wordt voor overstromingen, bijvoorbeeld als gevolg van veranderingen in de leeftijds- en gezondheidsverdeling van de bevolking. Het aantal blootgestelde personen ( $N_{EXP}$ ) kan veranderen als gevolg van (lokale) groei van de bevolking. Het aantal dodelijke slachtoffers van een overstroming wordt geschat aan de hand van (zie Figuur 4.8):

- (1) informatie over overstromingsdiepte, duur, etc.,
- (2) analyse van de bevolking en bewoond gebied,
- (3) evacuatie mogelijkheden,
- (4) kwetsbaarheid,
- (5) een zogenaamde sterftefunctie.

77

**FIGUUR 4.8**

Schema voor de bepaling van het verwachte aantal slachtoffers.

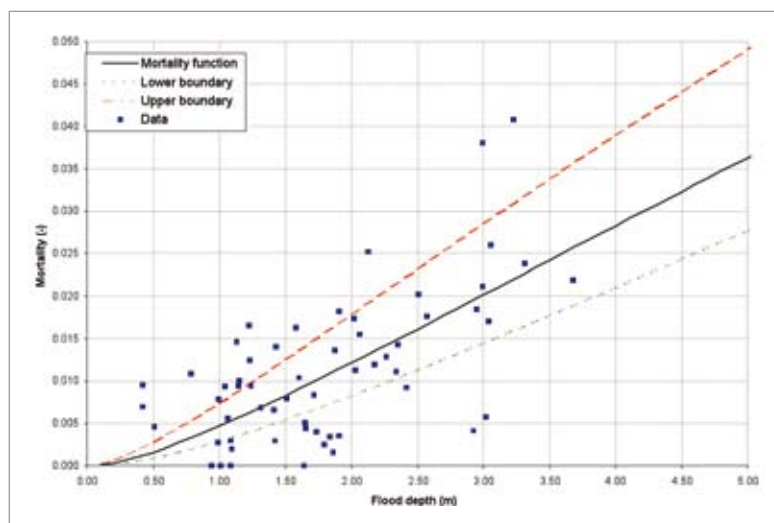


De in AVV gehanteerde sterftefunctie is bepaald op basis van gegevens van de overstroming van New Orleans door de orkaan Katrina (Jonkman, 2007; Maaskant en Jonkman, 2008). Deze tragische gebeurtenis gaf nieuwe informatie met betrekking tot slachtoffers in het overstroomde gebied. Door het combineren van informatie over de ruimtelijke verdeling van de dodelijke slachtoffers, de ramingen van de blootgestelde bevolking en informatie over overstromingsdiepte kan een relatie worden bepaald tussen de overstromingsdiepte en de sterfte (Figuur 4.9).



**FIGUUR 4.9**

Relatie tussen overstromingsdiepte en sterfte, uitgedrukt in mortaliteit: het aantal slachtoffers per aantal blootgestelde bewoners, gebaseerd op gegevens van de ramp in New Orleans met onzekerheidsmarges (5-95%) [Maaskant et al., 2008].

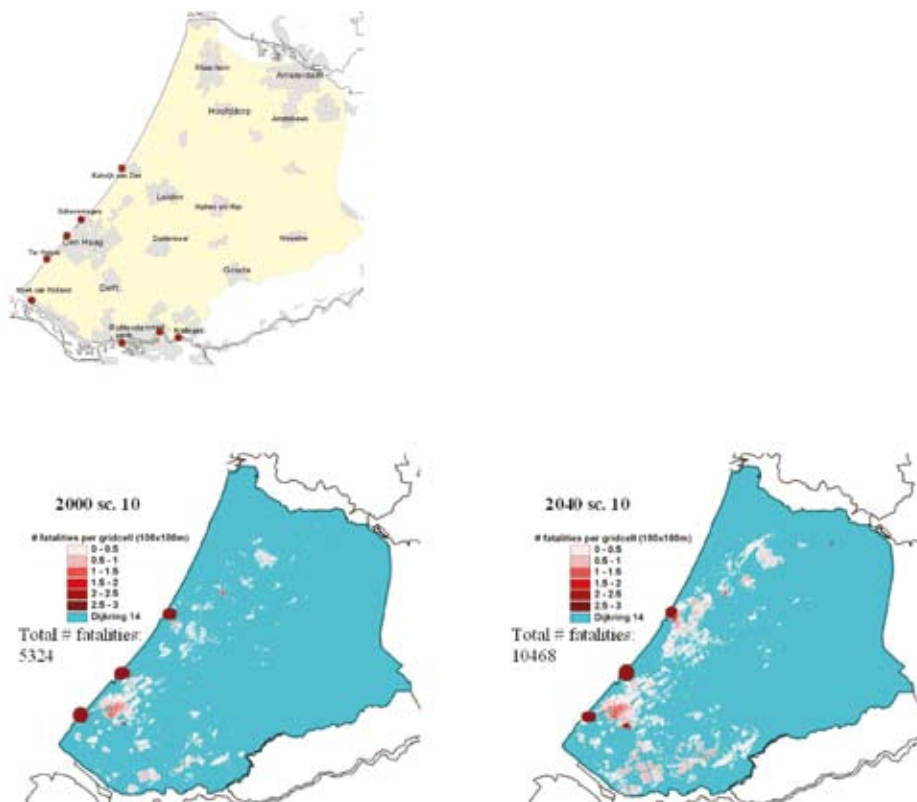


Voor het berekenen van te verwachten aantal slachtoffers onder diverse scenario's is gebruik gemaakt van tien verschillende overstromingsscenario's afkomstig uit het FLORIS project en bestaan uit zowel overstromingen vanuit zee en rivier (DWW, 2005) (Figuur 4.10). Verder zijn landgebruikscenario's gebruikt voor 2040 zoals beschreven in Hoofdstuk 2. Hoewel hierover nog veel discussie bestaat, zijn vooralsnog de effecten van evacuatie en beschutting niet meegenomen. Dit leidt tot een kwetsbare bevolking van 100 procent in overstromde gebieden. Er zijn studies die laten zien dat evacuatie het aantal kwetsbare personen in Zuid Holland kan laten afnemen met 1 tot 20 (DWW, 2005) en zelfs 60 tot 80 procent (Klijn et al., 2007). Echter, weer andere studies die gebruik maken van verkeersmodellen laten juist zien dat evacuatiemogelijkheden zeer beperkt zijn in Nederland (Van der Doef en Cappendijk, 2006). Met betrekking tot de stijging van de zeespiegel wordt aangenomen dat er ongeveer 24-30 cm stijging te verwachten is voor het jaar 2040.

Voor de berekening van het mogelijke aantal slachtoffers is tevens de typering van de stormvloed van belang. Er wordt van uitgegaan dat er zich in dijkkring 14 een doorbraak voordoet wanneer het waterniveau 4,65 m + NAP is. Na ongeveer 25 uur is waterstandstijging verdwenen maar is er nog wel een open verbinding met de zee. De toename in watervolume voor het jaar 2040 door zeespiegelstijging is ook meegenomen; er is extra water dat binnen stroomt. Er wordt verder aangenomen dat de bres na vijf dagen is gesloten.

**FIGUUR 4.10**

Locaties van dijkdoorbraken (linksboven). Onder: Aantal slachtoffers bij een simultane dijkdoorbraak bij Katwijk, Ter Heijde en Den Haag onder het huidige landgebruik (onder links) en mogelijk toekomstig landgebruik als gevolg van het GE scenario (onder rechts) (bron: Maaskant et al., 2008).

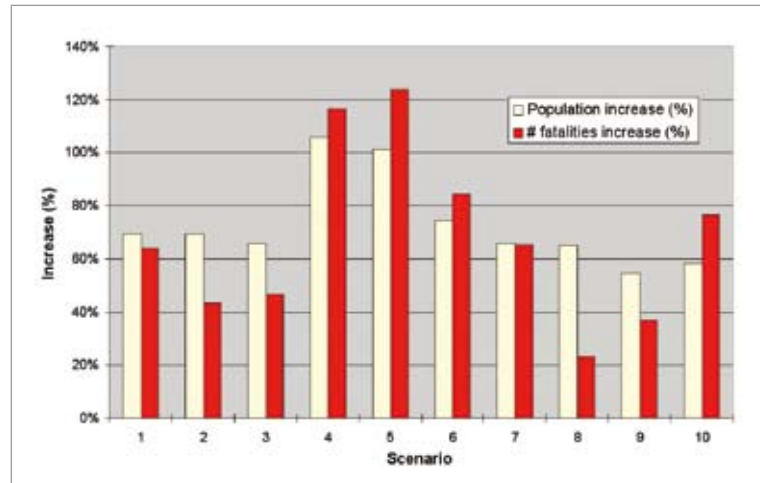


Figuur 4.10 laat het gevolg zien van een simultane dijkdoorbraak op 3 locaties (Katwijk, ter Heijde en Den Haag) onder het huidige landgebruik (links) en mogelijk toekomstig landgebruik als gevolg van het GE scenario (rechts) (zie ook scenario 10 in Figuur 4.11). Het blijkt dat onder dit (extreme) scenario er ongeveer 5.300 slachtoffers zouden vallen. Echter, als hetzelfde overstromingsscenario in 2040 zou plaatsvinden wanneer het landgebruik is veranderd (en er dus meer mensen in het gebied zijn gevestigd) en de gemiddelde zeespiegel inmiddels met 30 cm is gestegen, dan blijkt dat het potentieel aantal slachtoffers met 50% toeneemt tot ongeveer 10.500 mensen. (Ter vergelijking, in 1953 bezweken de toen zwakke dijken op vele plaatsen en verloren 1836 mensen in zuidwest Nederland het leven).

In Figuur 4.11 is het effect van tien overstromingsscenario's en de effecten op het potentieel aantal slachtoffers gepresenteerd wanneer alleen naar de invloed van de toename in bebouwd gebied wordt gekeken. Deze figuur toont aan dat voor scenario's 4, 5, 6 en 10 in kwetsbare delen de percentuele verhoging van het aantal slachtoffers hoger is dan de percentuele toename in bevolking.

FIGUUR 4.11

Effect van tien overstromings-scenario's op de toename van het aantal slachtoffers (rechter kolom) en daarnaast de percentuele toename van bevolking in kwetsbare delen (linker kolom).



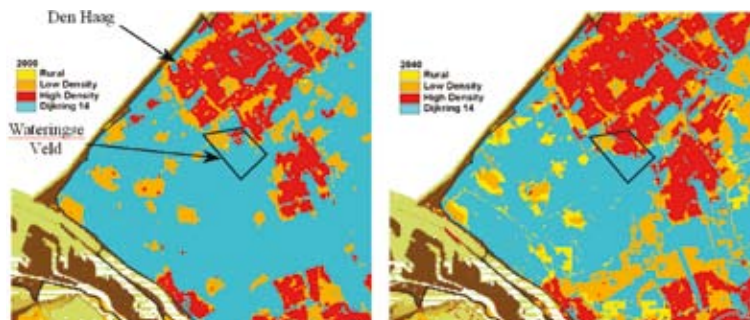
De AVV studie van Maaskant et al. (2008) laat zien dat de groei van de bevolking in kwetsbare gebieden hoger is dan de gemiddelde bevolkingsgroei in Zuid-Holland (+50% in de gebieden die zouden kunnen worden getroffen door overstromingen tegen +33% in het gehele gebied). Dit is een van de belangrijkste redenen waarom het geschatte aantal dodelijke slachtoffers sneller stijgt dan de gemiddelde groei van de bevolking voor Nederland, gemiddeld met ongeveer 60% in 2040 onder een relatief hoog groeiscenario voor de bevolking.

80

Een zeespiegelstijging van 30 cm zal naar verwachting leiden tot een gemiddelde stijging van het aantal dodelijke slachtoffers van ongeveer 20%. De invloed van de groei van de bevolking op het slachtofferrisico is aanzienlijk groter dan de invloed van de stijging van de zeespiegel. Rekening houdend met zowel een toenemende kans op overstromingen als bevolkingstoename kan het verwachte aantal dodelijke slachtoffers per jaar verviervoudigen tegen 2040. Deze resultaten zijn geldig voor een situatie waarin er geen maatregelen worden genomen ter beperking van de stijging van de gevolgen en overstromingskansen. Dit komt overeen met de constatering dat de bevolkings- en de economische groei hoger is in kwetsbare stedelijke gebieden over de hele wereld. Zo laat Munich Re (2007) bijvoorbeeld een forse toename in de wereldwijde omvang van schade als gevolg van grote rampen zien sinds de jaren 1970. Economische verliezen zijn sneller gestegen dan de gemiddelde nationale economische groei, wat wijst op de mogelijkheid dat de kwetsbaarheid voor rampen onevenredig toeneemt, vooral in de verstedelijkte gebieden (Bouwer et al., 2007).

FIGUUR 4.12

Studie gebied "Wateringse Veld" en de toename in bebouwd gebied voor het jaar 2040 onder het GE scenario.



De studie van Maaskant et al. (2008) laat in meer detail ook de gevolgen zien voor kleinere laaggelegen gebieden zoals Wateringse Veld en Rotterdam Noord (Figuur 4.12). Voor deze gebieden kan worden geconstateerd dat verdere bouw van woongebieden in diepe polders zal leiden tot een aanzienlijke toename van de potentiële sterfte als gevolg van overstromingen (meer dan 30% voor de twee onderzochte gebieden). Deze toename van het potentieel aantal slachtoffers wordt voornamelijk veroorzaakt door de groei van de bevolking in deze diepe polders en niet door een beperkte stijging van de zeespiegel, omdat in diepe polders dat laatste effect relatief klein is. Zo zorgt de toename van 87% in bevolking in het Wateringse Veld in 2040 voor een toename van het potentieel aantal slachtoffers van 156%. Om de toename van de gevolgen in deze laaggelegen locaties te beperken kan men denken over risico reducerende maatregelen, zoals evacuatie, schuilplaatsen, verhoogde/verzwaarde waterkeringen, compartimentering of ophoging van het te bebouwen gebied.

Ook enkele andere studies in Nederland analyseren de verwachte ontwikkelingen in het aantal dodelijke slachtoffers, zoals Klijn et al. (2007). In deze studie wordt voor Zuid-Holland naar de huidige toestand een gemiddelde schatting gegeven van 575 slachtoffers met een onder- en bovengrens van 37 en 4380. Dat is in dezelfde orde van grootte als de ramingen verkregen in AVV onderzoek (gemiddeld 940 dodelijke slachtoffers en de onder- en bovengrens van 180 en 5.300).

Voor de toekomst gebruikt de studie van Klijn et al. (2007) een groeifactor voor het bepalen van de dodelijke slachtoffers in 2040. Deze groeifactor is gebaseerd op de veranderingen in het aantal inwoners en op de veranderingen in het grondgebruik, bijvoorbeeld nieuw te bouwen woningen. Voor Zuid-Holland is deze factor 1,2 ofwel het aantal dodelijke slachtoffers zou toenemen met 20% tussen 2000 en het jaar 2040. In deze studie is de toename van de dodelijke slachtoffers, vanwege de toename van de bevolking en de veranderingen in het grondgebruik, ongeveer 60% (Maaskant et al., 2008). Het verschil kan worden verklaard door het feit dat in deze studie tien overstromingsscenario's worden gebruikt en voor elk scenario de gevolgen van de toename van de bevolking en de lokale veranderingen in het grondgebruik zijn geanalyseerd. Uit deze analyse is gebleken dat het merendeel van de bevolkingstoename is gelegen in gebieden die ernstig zouden kunnen worden getroffen door overstromingen. Dit suggereert dat het belangrijk is om rekening te houden met de specifieke locaties van de groei van de bevolking in combinatie met overstromingsrisico's.

## Ontwikkeling in schaderisico

Op grond van de ontwikkelingen in kansen en de ontwikkelingen in schadepotentieel kan er een schatting worden gemaakt van de ontwikkeling in het schaderisico, gedefinieerd als kans \* schade. Voor de bepaling van het huidige schaderisico wordt uitgegaan van de schatting van de huidige potentiële schade van 190 miljard euro, naar Klijn et al. (2007). Door de afzonderlijke potentiële schades per dijkkring te vermenigvuldigen met de huidige overschrijdingskansen per dijkkring wordt het huidige schaderisico ingeschat op 88 miljoen euro/jaar. Dit is waarschijnlijk een bovengrens omdat er bij het bepalen van overschrijdingskansen (zie paragraaf 4.2) ervan wordt uitgegaan dat er enige reststerkte in de dijken zit.

Vervolgens is gekeken naar de gecombineerde invloed van zeespiegelstijging en socio-economische ontwikkelingen op de toename in het schaderisico (Tabel 4.7). Bij een stijging van 24 cm zeespiegelstijging tot 2040 en het RC scenario stijgt het schaderisico van 88 miljoen euro/jaar naar circa 400 miljoen euro/jaar, als er geen extra maatregelen zouden worden genomen. Dit komt neer op een verviervoudiging van het risico. Als de zeespiegel in 2040 met 60 cm zou zijn toegenomen (en de afvoer van de Rijn naar 18.000 m³/sec), dan bedraagt het schaderisico circa 2.100 miljoen/jaar oftewel een toename met een factor 25. Onder het GE scenario neemt het overstromingsrisico met een factor 7 toe bij een zeespiegelstijging van 24 cm tot 2040, en zelfs met een factor 35 als de zeespiegel in 2040 gestegen is tot 60 cm. Het schaderisico is ook voor 2100 bepaald en komt voor de combinatie GE scenario + zeespiegelscenario 85 cm uit op ongeveer 24 miljard euro/jaar.

**TABEL 4.7**

Ontwikkeling van het schaderisico voor 2040 en 2100 (in miljoen euro/jaar) bij verschillende combinaties van zeespiegelstijging en sociaal economische ontwikkelingen (RC en GE)

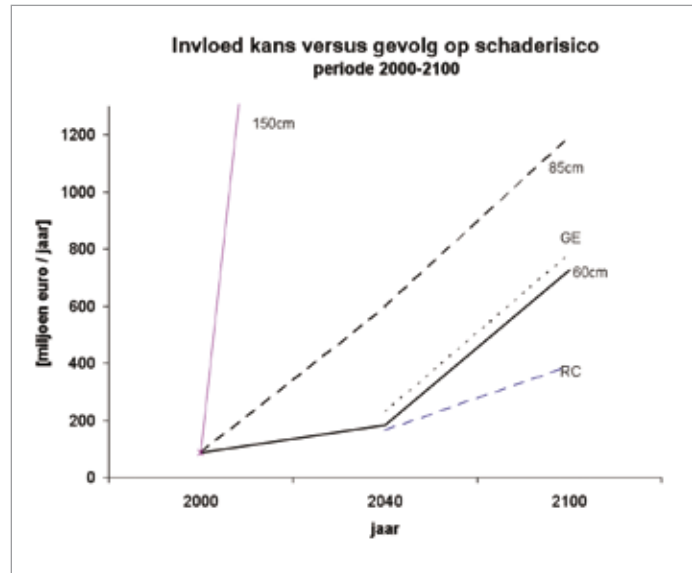


Jaar	Schaderisico (miljoen euro/jaar)		
	Zeespiegelstijging	RC	GE
2000	0	88	88
2015	0	112	112
2040	24	397	558
2040	60	2104	2927
2100	85	12326	24133
2100	150	317491	5782478

Deze astronomische getallen voor het schaderisico in de toekomst geeft inzicht in de gevoeligheid van het schaderisico voor de verschillende scenario's. Figuur 4.13 geeft de bandbreedte aan van het verloop in schaderisico bij verschillende scenario's in de periode 2000-2100. Het huidige risico (2000) is op 88 miljoen euro/jaar gezet. De invloed van het GE en RC scenario voor de jaren 2040 en 2100 is bepaald onder de aanname dat toekomstige kansen dezelfde zijn als de huidige kansen. Vervolgens is bepaald wat het schaderisico is bij een zeespiegelstijging van 24 cm in 2040 en 60 cm in 2100 en daarna ook van 40 cm in 2040 en 85 cm in 2100. Hierbij is het huidige potentiële schadeniveau aangehouden. Op deze manier kan worden beoordeeld wat de relatieve invloed is van economische groei ten opzichte van zeespiegelstijging in dezelfde tijdsspanne. Uit deze grafiek blijkt dat in de periode 2040-2100 het schaderisico onder invloed van respectievelijk 24 cm en 60 cm zeespiegelstijging van dezelfde orde is (184 miljoen/jaar in 2040 en 726 miljoen/jaar in 2100) als de ontwikkeling in het schaderisico onder invloed van alleen de RC en GE scenario's (165 – 787 miljoen/jaar in de periode 2040-2100). Het effect van het GE scenario geeft zelfs een hoger schaderisico in 2100 in vergelijking met alleen de invloed van 60 cm in 2100. Pas als de zeespiegel significant snel gaat stijgen (>60 cm) dan stijgt ook het schaderisico substantieel sneller. Bij een zeespiegelstijging van 150 cm is het schaderisico zelfs 19 miljard/jaar als het landgebruik gelijk zou blijven.

**FIGUUR 4.13**

Verloop van het schaderisico in de tijd waarbij steeds de invloed van één factor is bepaald (zeespiegelstijging of sociaal-economische groei) en de overige factoren constant zijn gehouden.

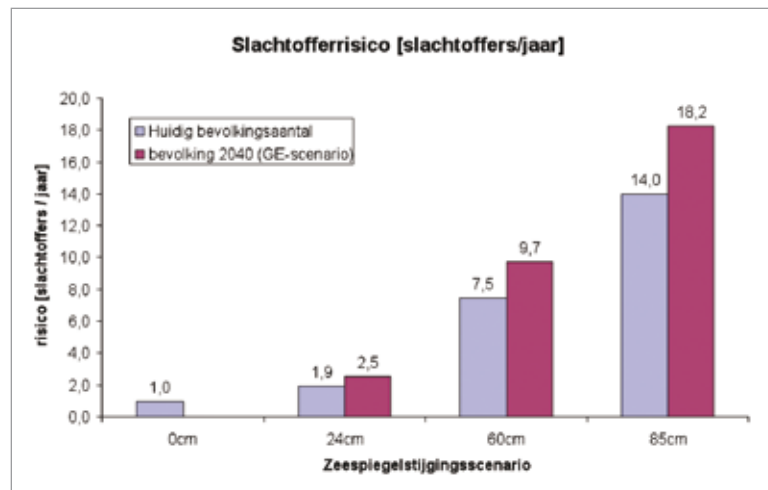


## Slachtofferrisico in heel Nederland

Voor het bepalen van het slachtofferrisico voor alle dijkringen in Nederland wordt gebruik gemaakt van gegevens uit de studie Nederland Later en Water (Klijn et al., 2007). Deze schattingen voor het huidige potentieel aantal slachtoffers en het potentieel aantal slachtoffers voor het jaar 2040 (GE scenario) zijn hier vermenigvuldigd met de overschrijdingskansen zoals deze bepaald zijn in het AVV project onder verschillende zeespiegelstijgingsscenario's (zie paragraaf 4.1). Figuur 4.14 laat de resultaten zien waaruit blijkt dat het huidige slachtofferrisico ongeveer 1 slachtoffer per jaar is. Dit getal komt overeen met de getallen beschreven in Klijn et al. (2007) (1,27 slachtoffers/jaar). Te zien is verder dat door zeespiegelstijging het slachtofferrisico zal toenemen tot ongeveer 2–18 slachtoffers per jaar afhankelijk van zeespiegelstijgingsscenario's tussen de 24 cm en 85 cm en van huidige of GE scenario bevolkingsaantallen.

**FIGUUR 4.14**

Slachtofferrisico voor alle dijkringen samen in personen/jaar bij verschillende zeespiegelstijgingsscenario's, zowel bij de huidige bevolkingsomvang als bij de verwachte bevolkingomvang in 2040 als gevolg van het GE scenario.



## 4.4 Wateroverlast

De nota Waterbeleid voor de 21e eeuw (2000) (WB21) en het hiermee samenhangend Nationaal Bestuursakkoord Water (2003) (NBW) stellen dat de problemen en knelpunten in het huidige watersysteem gaan toenemen als gevolg van de klimatologische veranderingen. Er moet rekening worden gehouden met intensievere regenval, frequentere buien en langere periodes van droogte. Ook de wateroverlastincidenten einde jaren '90 hebben er toe bijgedragen dat de aandacht voor wateroverlast is toegekomen. Op verschillende locaties in Nederland (Zuid Holland, Zeeland, Groningen en Drente) bedroeg de schade 18 miljoen euro in 2001 en 426 miljoen euro in 1998 (van der Bolt en Kok, 2000).

Wateroverlast wordt in deze studie gedefinieerd als een overstroming die ontstaat vanuit oppervlaktewater of doordat het grondwater hoger komt te staan, beide als gevolg van hevige regenval. Het gaat in dit onderdeel dus niet om overstromingen door doorbraken van dijken of boezemkaden waarbij ook slachtoffers kunnen vallen.

Gezien de toekomstige trends in (extreme-) neerslag geeft het NBW aan dat het watersysteem in Nederland op orde moet komen voor wat betreft wateroverlast in de periode tot 2015 en vervolgens ook op orde moet worden gehouden. Let wel, wateroverlast is in het NBW gedefinieerd als inundatie vanuit oppervlaktewater en houdt geen rekening met hoge grondwaterstanden. Uitgangspunt voor de benodigde maatregelen is het vasthouden, bergen en afvoeren van water zoals beschreven in het rapport WB21.

Op landelijke schaal is in het kader van de NBW bekeken in hoeverre regionale watersystemen voldoen aan werknormen zoals gedefinieerd in het NBW. Hierbij wordt landgebruik gekoppeld aan de toelaatbare mate van wateroverlast (Tabel 4.7). Er heeft in het kader van de NBW een aggregatie plaatsgevonden van de toetsingen die de waterschappen in 2001-2005 hebben uitgevoerd. De waterschappen hebben op dit moment voldaan aan de afspraak in het NBW om de wateroverlast in beeld te brengen. Na 2005 heeft er nog wel wat aanvullend onderzoek plaatsgevonden om het beeld te verfijnen of aan te vullen. Uit de toetsing blijkt dat circa 3% van Nederland niet op orde is volgens de werknormen uit het NBW en het WB21-middenscenario 2050 en dat de totale wateroverlastopgave destijds is geraamd op circa 300 miljoen m<sup>3</sup> (UvW, 2007).

In het Nationaal Bestuursakkoord Water is verder afgesproken dat eind 2005 het watersysteem getoetst moet zijn voor wateroverlast uitgaande van minimaal het WB21 midden scenario (zie ook Aerts et al., 2008; Immerzeel en Droogers, 2008). Deze toetsing is door de meeste waterbeheerders inmiddels uitgevoerd. Voortschrijdend inzicht in klimaatprocessen hebben ertoe geleid dat de WB21 scenario's zijn vervangen door de KNMI'06 (2006) scenario's. Voor het gebruik van de KNMI'06 (2006) scenario's, gericht op 2050-2100, door de waterschappen zijn nieuwe afspraken gemaakt. Daarin staat dat voor reeds berekende wateropgaven NBW vast houdt aan het uitgangspunt van het 'midden klimaatscenario 2050' daterende uit 2000, hetgeen globaal overeenkomt met het KNMI'06 klimaatscenario G, uitgezonderd de extreme 10-daagse neerslag. Waar mogelijk worden nieuwe maatregelen extra robuust uitgevoerd in het licht van omgaan met onzekerheden en de extremen van de KNMI'06 scenario's. Ook wordt de toetsing periodiek herhaald. Dat gebeurt voor het eerst in 2012 mits nieuwe inzichten in de klimaatsverandering door het IPCC dan hebben geleid tot een aanpassing van

de KNMI'06 scenario's. Voor regionale wateroverlast wordt gebruik gemaakt van het KNMI'06 scenario G als ondergrens, die daarmee het middenscenario 2050 vervangt. Voor de stedelijke wateropgave wordt bij het ontwerpen van maatregelen gebruik gemaakt van de klimaatscenario's G en W.

Voor de effecten van klimaatverandering op wateroverlast moet er globaal een onderscheid worden gemaakt tussen het effect van zeespiegelstijging en het effect van veranderende neerslag op wateroverlast. Ten gevolge van zeespiegelstijging boven de 60-80 cm zullen delen van Nederland die nu onder vrij verval water kunnen afvoeren in de toekomst bemalen moeten worden, wat extra kosten met zich mee kan brengen. Ten tweede heeft een verandering van de neerslagkarakteristieken direct invloed op het voorkomen van wateroverlast.

In studies in het kader van het NBW (2003) en Kragt et al. (2006) is een globale schatting gemaakt van de totale wateropgave. Dat is het extra aantal m<sup>3</sup> water dat vastgehouden, geborgen of afgevoerd moet worden wanneer klimaatverandering doorzet. Deze totale wateropgave heeft dus betrekking op zowel langdurige natte perioden als extreme buien op het afwateringssysteem en het ontwateringssysteem. De getallen voor de totale wateropgave lopen uiteen van 300-425 miljoen m<sup>3</sup>/jaar water extra in 2050 bij het KNMI midden scenario.

In de AVV studie is slechts naar een deel van de wateropgave gekeken en wel naar wateroverlast als gevolg van extreme (dag-) neerslag. Het is slechts een aanzet tot een eventuele landsdekkende analyse van de complete wateropgave in een vervolgfase. Ook is een globale analyse uitgevoerd van de veranderingen in de waterbalans, die een indicatie geven van de (extra) hoeveelheden water die er in een winterseizoen bijkomen onder klimaatverandering.

## Wateroverlast en extreme neerslag

In AVV is een generieke methodiek ontwikkeld om wateroverlast te bepalen als gevolg van extreme neerslag die in 24 uur kan vallen in het lokale watersysteem (zie Immerzeel en Droogers, 2008). De resultaten kunnen worden gebruikt als leidraad voor het vaststellen van lokale bergingsbehoeften, maar kunnen dus niet worden aangewend om uitspraken te doen over benodigde gemaalcapaciteiten van het hoofd afwateringssysteem op tijdschalen langer dan één dag.

Volgens de methode wordt Nederland verdeeld in cellen van 100 x 100 m<sup>2</sup>. Voor elke cel wordt aan de hand van ruimtelijke gegevens en statistische analyses bepaald wat de bergingsbehoefte is in de huidige situatie en in de toekomstige situatie bij extreme buien. Toekomstige buien zijn gesimuleerd volgens het KNMI'06 W scenario (zie Hoofdstuk 2). Ook het toekomstige landgebruik is meegenomen in deze analyse, hierbij is het MNP Trendscenario gevolgd (zie Klijn et al., 2007). Dit scenario ligt ongeveer tussen het GE en RC in (Zie Hoofdstuk 2)



De methode volgt de volgende stappen:

- Bepalen van de bio-fysische gevoeligheid voor wateroverlast als functie van hoogte, helling, kwel en grondwatertrap voor elke cel van 100 x 100 m<sup>2</sup>.
- Bepalen van een ruimtelijk beeld van extreme neerslag bij verschillende herhalingstijden.
- Bepalen van de herhalingstijden van wateroverlast.
- Kwantificering wateroverlast.

De onderliggende gedachte van de methodiek is dat wateroverlast in lokale systemen afhankelijk is van:

- de hoogteligging van een gebied ten opzichte van de omgeving,
- de helling,
- kwelprocessen en
- de grondwaterstand.

Ook verharding speelt een rol, maar is in deze studie niet meegenomen. Voor elk van deze variabelen zijn beslissingstabellen gemaakt waarmee per cel van 100 x 100 m<sup>2</sup> is vast te stellen hoe gevoelig deze is voor wateroverlast. De basis voor de beslistabellen is het schalen van de gegevens naar waarden tussen 0 (niet gevoelig) en 1 (zeer gevoelig). Vervolgens zijn de dagsommen van de neerslag voor de 13 meteorologische hoofdstations geanalyseerd. Voor elk station is de dagelijkse neerslaghoeveelheid bepaald die hoort bij 5, 10, 25, 50 en 100 jaar herhalingstijd voor de huidige situatie en voor het W scenario in 2050. Dit is gedaan door gemeten waarden te fitten op een Generalized Extreme Value (GEV) verdeling. De gevonden hoeveelheden zijn vervolgens ruimtelijk geïnterpoleerd en gecombineerd met de bio-fysische gevoeligheid voor wateroverlast (zie: Immerzeel en Droogers, 2008).

Door de bio-fysische gevoeligheid te combineren met de maximale neerslagsommen bij verschillende herhalingstijden kan de herhalingstijd van wateroverlast worden bepaald. Hiervoor wordt per herhalingstijd de bio-fysische gevoeligheid vermenigvuldigd met de neerslagsom. Het resultaat kan geïnterpreteerd worden als indicatieve extra te bergen hoeveelheid. Als deze hoeveelheid een grenswaarde van twee maal de maatgevende afvoer (~20 mm/dag) overschrijdt, kan er in de praktijk van wateroverlast worden gesproken. Of wateroverlast daadwerkelijk als wateroverlast wordt ervaren is afhankelijk van het landgebruik. Hiervoor zijn in het National Bestuursakkoord Water (NBW), dat in juli 2003 ondertekend is, voorlopige werknormen (nu "basisnormen genoemd") vastgelegd waaraan gebieden moeten voldoen. Voor grasland wordt bijvoorbeeld een norm van 1:10 jaar gebruikt en voor akkerbouw 1:25 jaar (Tabel 4.8). Uit een rapport van de Unie van Waterschappen (UvW, 2007) blijkt welke gebieden op dit moment nog niet aan deze norm voldoen (Figuur 4.15)

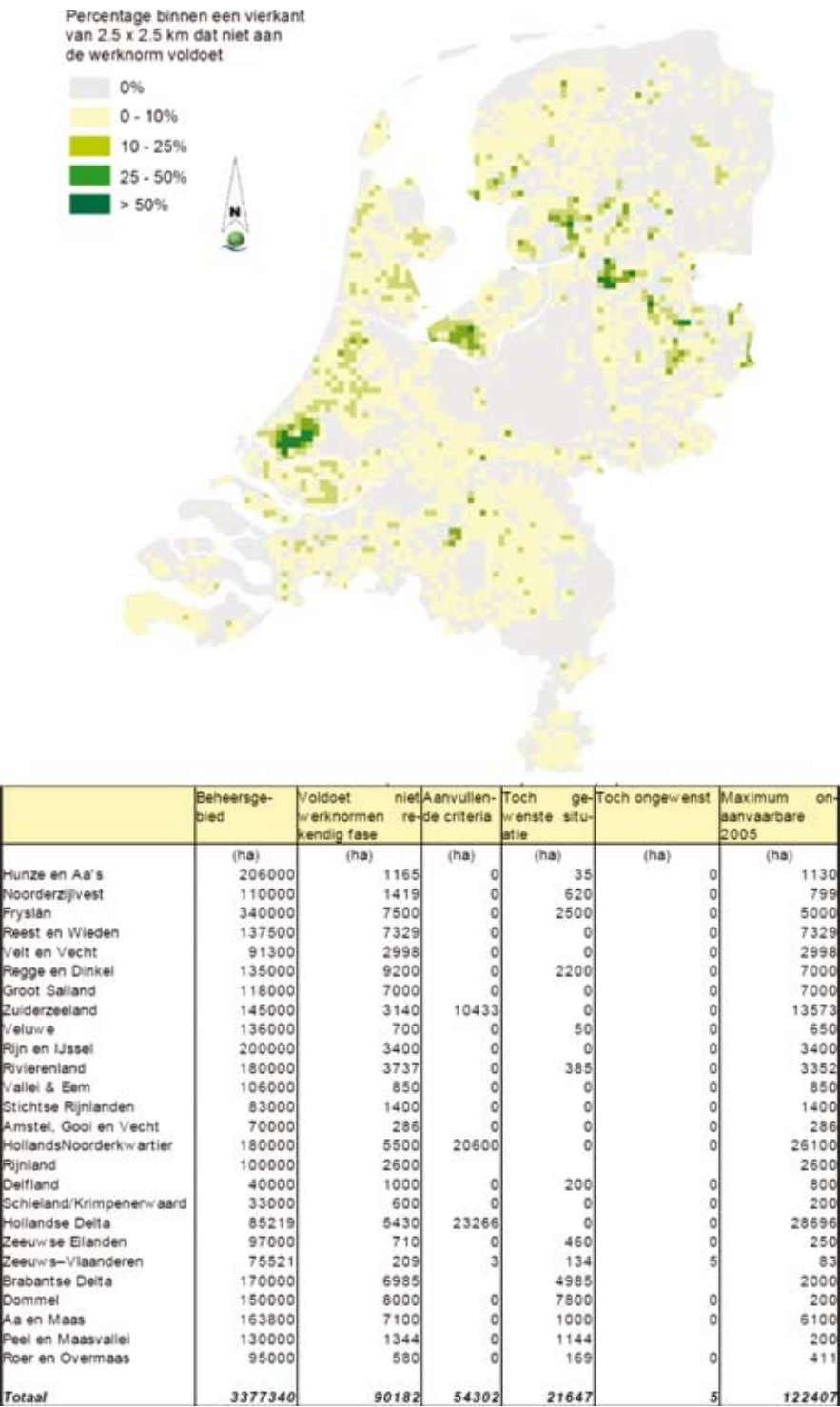
**TABEL 4.8**

Voorlopige werknormen NBW.

Landgebruik	Basis werk criterium (jr <sup>-1</sup> )
Grasland	1/10
Akkerbouw	1/25
Hoogwaardige land- en tuinbouw	1/50
Glastuinbouw	1/50
Bebouwd gebied	1/100

**FIGUUR 4.15** →

Boven: Percentage binnen een blok van 2.5 x 2.5 km dat niet aan de werknorm voldoet (bron: Hydrologic, 2006).  
 Onder: oppervlak per waterschap dat na toetsing niet aan de NBW norm voldoet (Bron UvW, 2007).



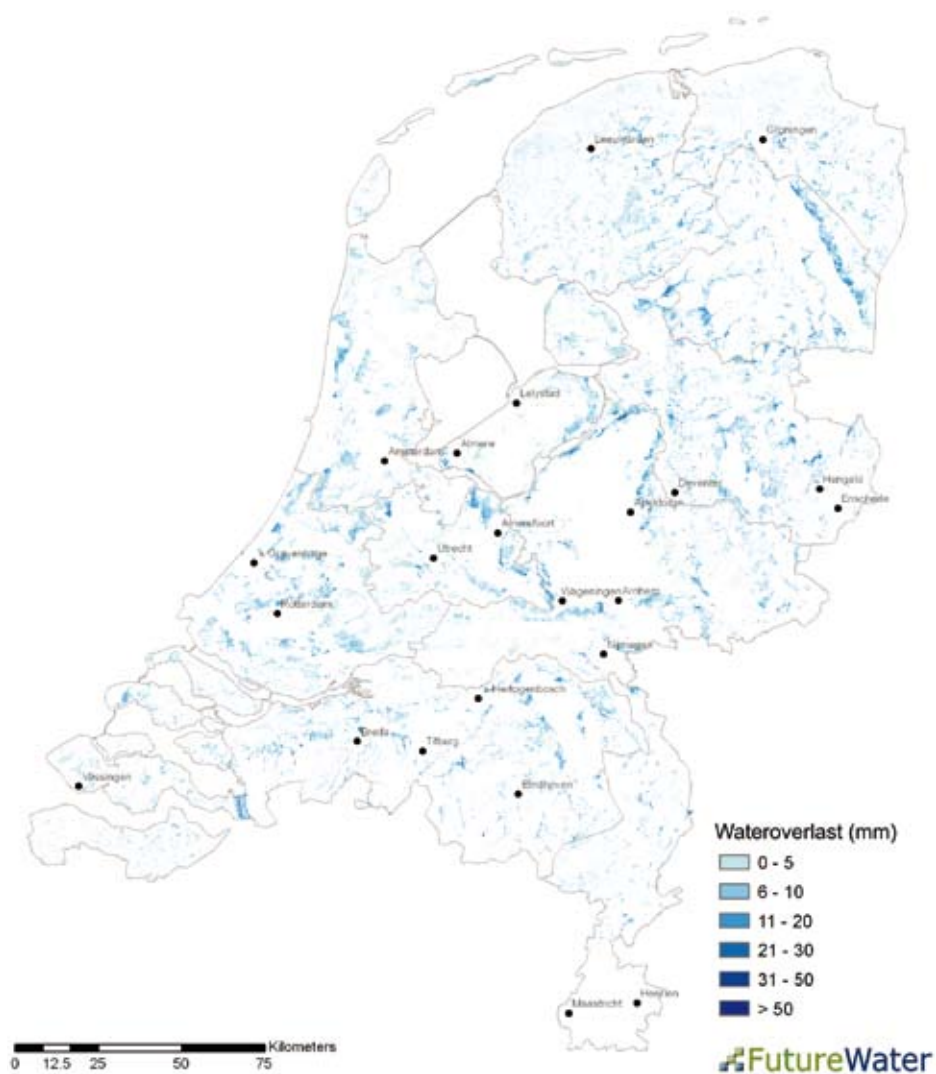
Om de gevoeligheid voor wateroverlast van een gebied te bepalen is de methode van Immerzeel en Droogers (2008) toegepast. Het volgende rekenvoorbeeld maakt duidelijk hoe de methode werkt. Een cel van 100 x 100 m<sup>2</sup> heeft een bio-fysische gevoeligheid van bijvoorbeeld 0,6 en in de huidige situatie is het landgebruik akkerbouw. Hier hoort een NBW norm bij van 1:25 jaar. Dit correspondeert met een extreme dagneerslag van ongeveer 60 mm (zie Immerzeel en Droogers, 2008). De wateroverlast die voor deze cel berekend wordt is gelijk aan  $0,6 \times 60 - 20$  (= 2 x maatgevende afvoer) = 16 mm. Stel dat rond 2050 het landgebruik veranderd is naar stedelijk gebied met een criterium bij van 1:100 jaar. Dit correspondeert met een extreme dagneerslag van ongeveer 75 mm. De wateroverlast die dan voor 2050 voor deze cel wordt berekend is gelijk aan  $0,6 \times 75 \times 1,27$  (= toename extreme neerslag in 2050 onder het W scenario) - 20 = 37 mm. Op deze manier worden zowel de klimatologische als de ruimtelijke ontwikkelingen meegenomen en wordt er rekening gehouden met de van het landgebruik afhankelijke maximaal toelaatbare wateroverlast per cel. De eerste globale resultaten van de methode staan in Figuur 4.16 en 4.17. Figuur 4.16 geeft de gebieden van wateroverlast weer onder extreme neerslag voor de huidige situatie. Figuur 4.17 geeft de wateroverlast weer in 2050 onder het W scenario (Immerzeel en Droogers, 2008).

In Figuur 4.18 zijn de extra millimeters wateroverlast gesommeerd per dijkkring voor de situatie in 2050 ten opzichte van de huidige situatie. Uit resultaten blijkt dat er grote verschillen bestaan tussen de dijkringen. De top drie wordt gevormd door Friesland en Groningen (huidig klimaat = 2.6 miljoen m<sup>3</sup>; W scenario = 9.9 miljoen m<sup>3</sup>), Zuid-Holland (DR14) (huidig klimaat = 1.7 miljoen m<sup>3</sup>, W scenario = 6.3 miljoen m<sup>3</sup>) en Noord-Holland (DR13) (huidig klimaat = 0.7 miljoen m<sup>3</sup>, W scenario = 3.2 miljoen m<sup>3</sup>). Deze dijkringen laten ook de grootste absolute toename zien. Hier zullen dus de meeste (bergings) maatregelen getroffen moeten worden om adequaat met extreme neerslag om te kunnen gaan. Opgemerkt wordt dat ook buiten het gebied van dijkringen wateroverlast een probleem zal vormen, bijvoorbeeld aan de noordelijke flanken van de Drentse Hondsrug en in Twente, Salland en Oost Brabant, waar dus ook rekening moet worden gehouden met bergingsmaatregelen.

**Belangrijk:** Het is irrealistisch te veronderstellen dat het grondgebruik verandert zonder dat de hoeveelheid waterberging toeneemt. Via de watertoets worden afspraken gemaakt over compensatie, zodat de opgave per saldo gelijk blijft en bij voorkeur zelfs afneemt. Echter, in dit hoofdstuk is gekeken naar de effecten zonder dat er extra maatregelen worden getroffen.

FIGUUR 4.16

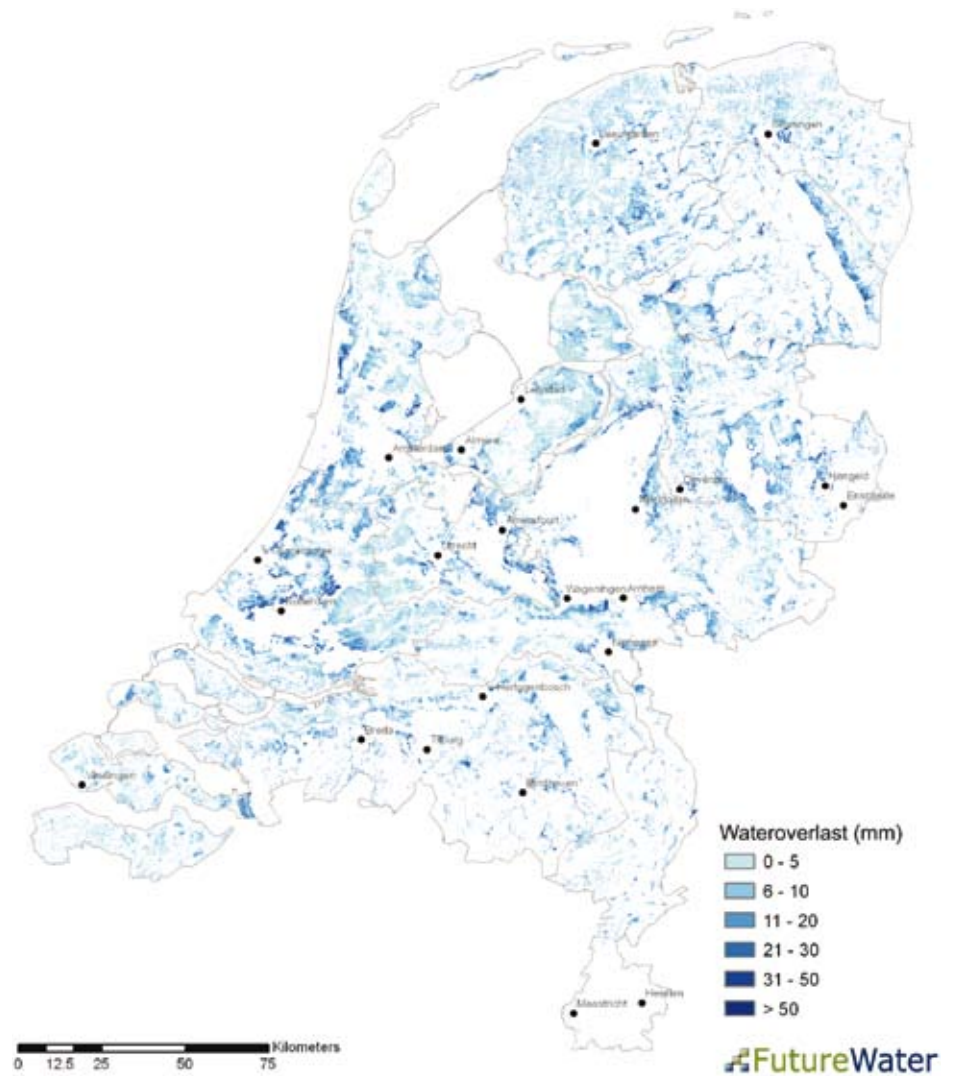
Wateroverlast in mm/dag bij  
extreme neerslag in 24 uur voor  
de huidige situatie.



FIGUUR 4.17

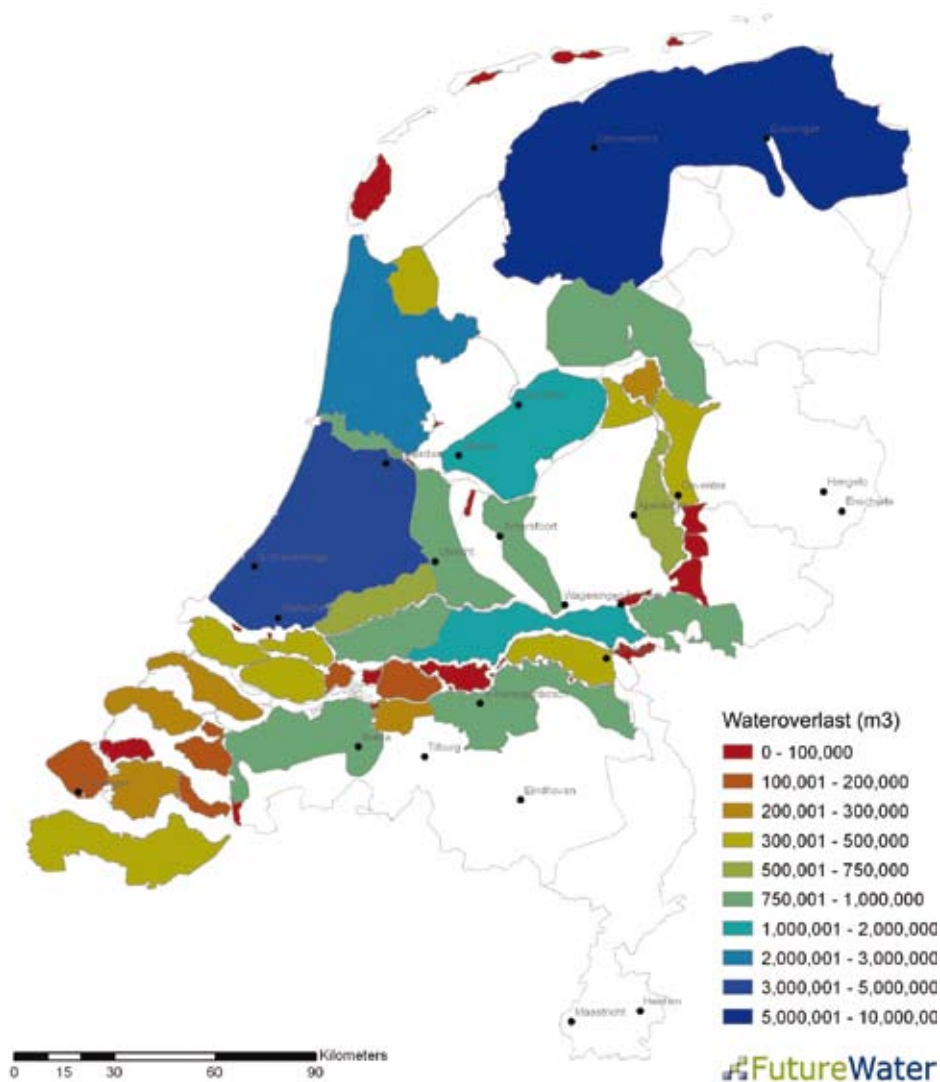


Wateroverlast in mm/dag bij  
extreme neerslag in 24 uur voor  
het W scenario in 2050.



FIGUUR 4.18

Extra wateroverlast in m<sup>3</sup>/dag  
per dijkkring (W scenario  
2050 – huidige situatie)



## Toename gemiddelde winterdrainage

In een korte studie van Kwadijk (2008) is per dijkkring bepaald hoeveel water er nu en in de toekomst zal moeten worden afgevoerd (drainage) en hoe groot de watervraag zal zijn. Op de watervraag wordt hier verder niet ingegaan. Maatgevend voor de drainage is het totale winterwateroverschot genomen (periode december, januari, februari). De basis voor deze waterbalans berekeningen per dijkkring is de dagneerslag (P) en dagverdamping (PE) voor de Bilt over de periode 1906-2002. Op basis van deze gegevens zijn zowel P als PE geaccumuleerd op maandbasis (in mm/maand) waarna een waterbalans per maand is gemaakt ((P-PE) (mm/maand)). De drainagebehoefte in de dijkringen is berekend door het oppervlak van de dijkringen te vermenigvuldigen met het berekende aantal millimeters per maand (miljoen m<sup>3</sup>/maand per dijkkring). Voor de toekomst is de basis meteorologische reeks van de Bilt aangepast op basis van de verschillende KNMI '06 scenario's. Vervolgens is per dijkkring de waterbalans bepaald.

Uit deze studie blijkt dat voor het W scenario gedurende het winterseizoen er een gemiddelde toename is van 266 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. Voor het W+ scenario zou dit zelfs 521 miljoen m<sup>3</sup>/jaar zijn. Deze getallen beslaan het totaal van alle dijkringen in Nederland.

## Vergelijking van de resultaten met de wateropgave in WB21

Zoals hierboven beschreven beschrijft NBW (2003) en Kragt et al. (2006) dat de wateropgave globaal tussen de 238 en 425 miljoen m<sup>3</sup>/jaar bedraagt, afhankelijk van de gevolgde methodiek. Uit de AVV berekeningen blijkt dat de lokale wateroverlast toeneemt ten gevolge van toenemende extreme neerslag en veranderend landgebruik bij een gelimiteerde opvang- bergings- en ontwateringscapaciteit. Voor heel Nederland geldt dat er in de huidige situatie de gesommeerde lokale wateroverlast als gevolg van extreme buien 19 miljoen m<sup>3</sup>/dag bedraagt. Wanneer er alleen naar de dijkringen wordt gekeken is dat 12 miljoen m<sup>3</sup>/dag (Immerzeel en Droogers 2008). In 2050 (klimaatscenario W en MNP Trendscenario) wordt dit in totaal 61 miljoen m<sup>3</sup>/dag (alleen dijkringen = 43 miljoen m<sup>3</sup>/dag). Hieruit kan worden afgeleid dat de toekomstige lokale wateroverlast in het ontwateringssysteem globaal rond de 15%-25% bedraagt van de totale wateropgave en dat deze hoeveelheid extra geborgen of afgevoerd moet worden.

Er bestaan zeer veel ideeën, visies en tot in detail uitgewerkte plannen om de toekomstige veiligheid van Nederland te waarborgen. Deze studies verschillen in zeer grote mate in geografische schaal, de mate van detail, de mate van integraliteit, etc. Binnen de studie AVV is in die verscheidenheid focus aangebracht door met name te kijken naar visies en plannen die betrekking hebben op de inrichting van Nederland op de lange termijn, mede vanuit de vraag hoe –door Nederland anders in te richten– het in ons land ook op de lange termijn veilig kan blijven. Hoewel ongeveer 40 studies zijn geanalyseerd geeft deze deelstudie toch geen uitputtend overzicht. Wel wordt een goed beeld geschetst van de belangrijkste ingrediënten van betreffende studies (Aerts en Walraven, 2008). Ze vormden de bouwstenen voor het opzetten van de oplossingsrichtingen Business as Usual (BAU) en Nederland Omhoog, zoals beschreven in Hoofdstuk 6.

Verder heeft het AVV project aanvullend onderzoek gedaan in de vorm van expert workshops (Annex 2) en interviews met mensen die hun visie in de media of vakliteratuur hebben gepresenteerd (Annex 1). Eén van redenen hiervoor was meer inzicht te krijgen in de houdbaarheid van mogelijke oplossingsrichtingen onder meer extreme scenario's zoals +5 m zeespiegelstijging. Op dit terrein is nog relatief weinig onderzoek verricht. Ondanks het feit dat er ongeveer 300 experts uit de watersector en de RO sector hebben meegewerkt, geldt ook hier dat deze studie niet alle ideeën heeft gedekt.

Dit hoofdstuk behandelt eerst een overzicht van nationaal georiënteerde visies en gaat vervolgens voor deelregio's van Nederland in op mogelijke oplossingsrichtingen. Figuur 5.1 geeft een overzicht van de bekeken studies. In Tabel 5.1 is voor een selectie van bestaande studies beschreven welk type oplossingsrichting wordt beschreven en welke aannamen daarbij zijn gehanteerd



TABEL 5.1

Overzicht van studies en de hierin beschreven oplossingsrichtingen en scenario's.

Let op: De afzonderlijke scenario combinaties zijn niet waarschijnlijk maar zijn gebruikt in een "Stel – dat" analyse om de robuustheid van oplossings-richtingen te testen.

Studie	Scenario		Oplossingsrichting						
	Zicht jaar	Max. Stijging Zeespiegel (m)	Rivier afvoer (m³/s)	BAU	Terug trekken	Ruimte voor Water	Tweede kering	Brede kust / eiland	Rivier
Wassend water (VenW, 1986)	2200	+ 5	Rijn: 12.000 Maas: 2.000	X	X	X	X		
WNF 1996	2050	+1				X		X	
Rijn op Termijn (WIDelft 1998)	2100	+ 1	Rijn: 20.000						X
Waterlast of waterlust (VenW 2000)	2050	+1,1	Rijn: 20.000 Maas: 5.500		X	X			X
Naar Zee! (RPB, 2002)	2200				X	X		X	
Atlantis (IVM, 2005)	2130	+5		X	X				
Delta Inzicht. (2003, 2008)	2050	+1,1	Rijn: 18.000	X		X			
IVM2 (VenW, 2006)	2100	0	Maas: 4.600						X
Boorsma (2007)	2100	+0,18	Rijn 15.000	X				X	
Haak en Stokman (2007)	2100	+6	Rijn: 12.000 Maas: 2.000				X		
Nederland Later (Klijn et al., 2007)	2040- ..	0,35 (+5)	Rijn: 16.700	X	X	X		X	

FIGUUR 5.1

Globale locatie van de onderzochte perspectieven.

Oplossingsrichtingen 2.1 t/m 2.6 richten zich op een nationale schaal (bron: Aerts en Walraven, 2008).



## 5.1 Nationale oplossingsrichtingen

### Business as Usual

De meest uitgewerkte studies naar de veiligheid van Nederland op de lange termijn staan beschreven in VenW (1986), VenW (2000c) en Klijn et al. (2007). Als we deze studies naast elkaar leggen blijkt dat er grote overeenkomsten zijn in de keuze van veiligheidsperspectieven. Zo heeft elke studie een Business as Usual (BAU) oplossingsrichting, een oplossingsrichting waarbij er delen van Nederland worden verlaten en ook een oplossingsrichting waarbij laag Nederland waterrijker wordt. In de meer recente rapporten van VenW (2000c), RIVM (2004) en Klijn et al. (2007) wordt ook bekeken of sturen in de ruimtelijke ordening perspectief biedt.

De eerste oplossingsrichting, BAU, gaat in de genoemde studie uit van extra 'beschermen' door het beperken van overstromingskansen door waterkeringen als dijken en duinen. In de meer recente Klijn et al. (2007) studie wordt ook gekeken naar beperkte risicodifferentiatie en compartimentering. Deze oplossingsrichting legt binnendijs geen beperkingen op aan het ruimtegebruik en de ruimtelijke ontwikkeling kan zich vrij (autonoom) ontwikkelen. Nederland blijft de huidige vorm houden met een gesloten kustlijn en eventueel op termijn een stormvloedkering in de Westerschelde bij Vlissingen. Er wordt op dijkverzwaring ingezet (Klijn et al., 2007) zonder een nieuwe ronde voor Ruimte voor de Rivier behalve waar grote economische waarde in het geding zijn en bereidheid tot investeren bij lokale partijen te vinden is.

Voor de kust gaan de studies er in het algemeen vanuit dat bij een maximale zeespiegelstijging van 1 m deze eeuw het versterken (verbreden en verhogen) van de bestaande zeekeringen (inclusief de twee stormvloedkeringen) het meest voor de hand ligt. Provincie Zuid-Holland (2006) en Klijn et al. (2007) stellen een forse zeewaartse verbreding van de kuststrook voor nabij de zwakke schakels (Monster/Ter Heijde, Petten, Callantsoog; de koppen van de eilanden in zuidwest Nederland). Daarnaast is circa 7 miljard m<sup>3</sup> extra suppletiezand nodig in de komende 100 jaar (5x zoveel als bij het huidige beleid). Om daarnaast de kust op de zwakke plekken met een paar honderd meter te verbreden is nog zo'n 1 miljard m<sup>3</sup> zand nodig. Afgerond is er de komende 100 jaar zo'n 10 miljard m<sup>3</sup> zand nodig. De kosten hiervoor zijn berekend op 20 tot 30 miljard euro over 100 jaar. VenW (1986) schreef destijds dat er 3-4 miljard m<sup>3</sup> zand over 200 jaar nodig zou zijn door zeespiegelstijging, wat neerkomt op  $15-20 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/jaar. VenW (1986) stelt verder dat voor de Zeeuwse Delta de zeedijken worden verhoogd. Er worden daar wel problemen verwacht en er wordt verondersteld dat een groot aantal schorren en slikken zullen verdwijnen. Ook zijn op diverse locaties aanpassingen nodig van de huidige spui- en hevelwerken. Als laatste moet voor de Rotterdamse haven gezocht worden naar langzaam meegroeien en het installeren van dokhavens.

De studies laten verder zien dat het benedenrivierengebied het meest kwetsbaar is. Bij zeespiegelstijging zal het benedenrivierengebied zich uitbreiden in oostelijke richting (circa 10 km per meter zeespiegelstijging). Indien het benedenrivierengebied open blijft met uitzondering van periodes tijdens stormvloeden, zal het zich gedragen als een estuarium. Bij een geringe zeespiegelstijging tot circa 1 m zal het estuariene gebied zich uitbreiden tot aan Wijk bij Duurstede. Bij een extreme zeespiegelstijging van 5 m

(maximaal stormvloedpeil van +12 m NAP) zal het estuariene gebied zich uitbreiden tot aan Nijmegen (VenW, 1986; Klijn et al., 2007). Naast dijkverhoging langs de rivieren moet ook in de stedelijke gebieden langs de benedenrivieren ruimte worden gemaakt voor een veiligheidszone (zonder bebouwing) van voldoende breedte, zodat de dijken in een aantal stappen in de tijd (afhankelijk van de optredende zeespiegelstijging) kunnen worden verhoogd.

## Extra spuicapaciteit

De notitie van Boorsma (1996, 2005) laat zien dat extreme stormen langs de kust weliswaar slechts 24 uur duren maar dat gemiddelde hoogwaterstanden op de zuidelijke Noordzee en op de Waddenzee tot wel dagenlang erna kunnen voorkomen. Hierbij wordt de spuicapaciteit naar zee dagenlang geblokkeerd, ook bij “slechts” gemiddeld hoge rivierafvoeren. Boorsma stelt dat als de afvoer in 1995 geblokkeerd zou zijn door hoge waterstanden vanuit de Noordzee, dan zouden voor de dan heersende totale afvoer van 22.000 m<sup>3</sup>/s (Rijn, Maas en Schelde samen) 100 megagemalen nodig zijn geweest. Volgens Boorsma (1996, 2000) is het verstandig in te zetten op extra spuicapaciteit langs de kust en een tussentijdse onderloopboezem op de Waddenzee. Witteveen en Bos (2008) pleiten met name voor meer spuicapaciteit bij de Afsluitdijk.

Verder zijn goed functionerende spuiboezems van groot belang. Hiervoor zijn de Zeeuwse meren en een nieuw zoet waddenmeer van 2.000 km<sup>2</sup> geschikt. Als alternatief kan een tijdelijke onderloopboezem in de Waddenzee nabij de afsluitdijk worden gerealiseerd waarbij het IJsselmeerpeil langzaam tot +1,1 m moet kunnen meestijgen met de zeespiegel. Het Kleine IJsselmeer mag niet verder worden verkleind.

Ook nabij de Randstad is extra spuicapaciteit nodig. Water kan zich snel ophopen in het benedenrivierengebied wat gevaarlijk is voor de Randstad. Alle investeringen moeten erop gericht zijn het water zo snel mogelijk naar zee te krijgen. Dat kan alleen over de Zeeuwse wateren en via een spuisluis naar de Westerschelde. De oplossing via “een kier in de Haringvlietsluizen” biedt geen duurzame oplossing (Boorsma, 1996, 2005).

Door zeespiegelstijging en bodemdaling komt de afvoer van water door vrij verval in gevaar. Bij Delfzijl en Vlissingen is het getijverschil het grootst dus is het hier het meest logisch om spuisluizen te bouwen om water af te voeren dat onder vrij verval is afgeleid naar de Zeeuwse meren en het Waddenmeer (Bijvoorbeeld bij Westereems en Hansweert).

## 5.2 Ruimte voor water

Er zijn verschillende studies die bekijken waar er meer ruimte is voor natuurlijke processen en waar water meer ruimte zou kunnen krijgen. In VenW (2000c) wordt een visie uitgewerkt “Meebewegen met de hoofdstroom” waarbij inrichtingsmaatregelen moeten aansluiten bij zowel de hydrologisch-natuurlijke processen als bij de ruimtelijk-maatschappelijke processen. Water is dus sturend, maar vitale economische centra mogen groeien. De uitgangspunten zijn efficiënte inrichting van de ruimte, het voorkomen van afwenteling en technische oplossingen worden als sluitstuk gezien. Het principe van het juist weer toelaten van water vinden we ook terug in de studie ‘Meegroeien met de Zee’ (WWF, 1996) en in beperkte mate ook in de visie Delta Inzicht (2003).

In Klijn et al. (2007) wordt dit principe verder uitgewerkt in de variant “Ruimte voor Water”. Ook hier wordt gekeken naar zowel beheersing van kansen en beperking van ongewenste gevolgen, wat leidt tot een veel grotere differentiatie van de normen naar risico’s. Hierbij worden maatregelen genoemd zoals een brede overstroombare dijk (zoals is verkend in ComCoast) voor het gecontroleerd kunnen laten overstromen vanuit rivieren en meren. Ruimtelijke maatregelen krijgen voorrang, net als in de VenW (2000c) studie. In grote dijkkringen wordt compartimentering aangebracht en voor de RO gaan gebieden “niet op slot” maar er is wel een plicht tot aangepast bouwen: watervast (plavuizen/ parkeergarages onder), watervrij (palen) of drijvend. Specifiek noemen Klijn et al. (2007) nog de maatregelen:

- Flevoland: extra bescherming Almere, Knardijk;
- Betuwe: extra bescherming voor Amsterdam Rijnkanaal;
- Maaskant: Den Bosch veiliger;
- Voorne Putten: Spijkenisse overdijkt.

De combinatie van brede dijken met overslag en het toelaten van water is ook gebruikt in de visie Delta Inzicht (2003). Hier wordt onder andere de optie bekeken om de afvoer van rivierwater vanuit het Hollands Diep naar zee te herstellen via Haringvliet, Volkerak-Zoommeer, Grevelingen en Oosterschelde, waardoor ook in deze voormalige zeearmen zoetzout-gradiënten zouden terugkomen met (gedempt) getij. “Met de bestaande doorlaatmiddelen kan waarschijnlijk al zeer veel bereikt worden, maar voor verdergaande maatregelen (herstel van getijden) zal het vergroten of de aanleg van nieuwe doorlaatmiddelen nodig zijn”. In dat geval wordt de verdeling van het beschikbare rivierwater tussen de Nieuwe Waterweg en de Deltawateren een belangrijk punt. Verder wordt ook voorgesteld dijken landinwaarts te verleggen waardoor het estuarium vergroot wordt en de estuariene dynamiek verbeterd wordt.

In het project Delta Inzicht (2008) is meer naar de Randstad gekeken. Het project laat zien dat er verschillende (klimaat)effecten spelen die integraal moeten worden aangepakt: het overstromingsrisico neemt toe, vernetting neemt toe, het wordt warmer maar soms ook droger, verzilting neemt toe en bovendien daalt de bodem verder. Het project zet onder andere in op het maken en openhouden van ruimte voor de doorvoer en berging van water van de grote rivieren richting de zee in een (zoveel mogelijk) open estuarium (zie Figuur 5.2). “Grootschalige ruimtelijke ontwikkelingen die de potentiële ruimte beperken zijn ongewenst”. In de westelijke Randstad is het de opgave mogelijkheden te zoeken om polders af te koppelen, om de druk op de

boezem (kwantitatief en kwalitatief) zoveel mogelijk te beperken. De opgave in het centrale veenweidegebied richt zich op het vernatten (behoud van het veen) en het afkoppelen van het boezemsysteem van de laagste delen van het veen(weide)gebied (ontlasten van het boezemstelsel in perioden met grote afvoeren). “Verder bouwen in droogmakerijen die al sterk verstedelijkt zijn - en dus ook in de toekomst blijvend goed tegen overstroming moeten worden beschermd - is denkbaar. Nieuwe maatregelen zoals compartimentering zijn nodig”.

**FIGUUR 5.2**

Visie van Delta Inzicht project met risicogebieden (links) en gebieden waar maatregelen nodig zijn met betrekking tot de veiligheid (rechts) (Delta Inzicht, 2008).



## 5.3 Terugtrekken

98

Drie studies bestudeerden een “Retreat” variant waarbij werd uitgegaan dat terugtrekken effectiever is dan blijven investeren in kwetsbare delen van Nederland. Klijn et al. (2007) beschrijven onder andere een variant waarbij er geen investeringen meer plaatsvinden in waterkeringen. Daardoor zijn er nog wel de volgende maatregelen nodig:

- Kust: Zandsuppleties en de Randstad wordt nog wel aangehouden;
- Rivieren en meren: Alleen onderhoud sterkte van de dijken, geen verhogingen meer (ook geen rivierverruiming);
- Investeren in wonen en werken volledig naar de hogere gronden verplaatsen, maar geen kapitaalsvernietiging door sloop. Dat betekent een nieuwbouwverbod voor alle gebied beneden circa 1 m NAP en voor de hellende dijkringen in het rivierengebied.

Opvallend is dat in de studies van VenW (1986, 2000c) de gebieden boven de +5 m NAP-lijn worden behouden alsmede de stedelijke en industriële conglomeraties van de Randstad (Figuur 5.3). Verspreid over enkele honderden jaren kan er een strategische terugtrekking plaatsvinden van de lagere gronden.

**FIGUUR 5.3**

Peninsula Holland en strategische terugtrekking (V&W, 1986).



Verskillende voor- en nadelen worden genoemd. De genoemde voordelen zijn het behoud van de huidige stedelijke en industriële conglomeraties, verlaging van de totale aanleg- en beheerskosten voor waterhuishoudkundige werken, behoud van vele functies die aan een natuurlijke kustzone gebonden zijn (visserij, recreatie, natuur). De terugtrekking zou plaatsvinden over 200 jaar wat evenredig is aan de afschrijving van kapitaalgoederen.

De nadelen echter zijn een fors verlies (ongeveer 30%) van landoppervlak, het verlies van een groot gebied aan zoetwater-wetlands (IJsselmeer), verlies van woonkernen en steden, en grote investeringen voor het behoud van de Randstad. De zoute kwel zal in het scenario in de Randstad met een factor 2 à 3 toenemen. De uitwatering van Maas en Rijn geschiedt hoofdzakelijk via het Hollands Diep en direct op een nieuw deel van de Noordzee.

De achterland verbinding is mogelijk via Zwolle-IJssel-Rijn. De havens zijn hoger op gelegen van Rijnmond op +5 m NAP. De haven van Rotterdam wordt langzaam afgebouwd omdat ze te laag gelegen is. Het aantal mensen dat zich uit de lage gebieden terug trekt, ligt tussen de 1,5–2 miljoen. Over 200 jaar verspreid zouden jaarlijks 10.000 mensen naar hogere delen moeten verhuizen wat overeen komt met ongeveer 3.500 te bouwen woningen per jaar bij een woondichtheid van 2,7 mensen/woning. Een hele inspanning, hoewel het t.o.v. het huidige (2007) jaarlijks gebouwde volume van ruim 100.000 woningen lijkt mee te vallen. Het scenario leidt tot een zware druk op het sociaal-economisch klimaat. Fasering is van essentieel belang. Hoe langer van tevoren de werkwijze van terugtrekking bekend is, hoe beter erop ingespeeld kan worden met betrekking tot investeringen, afschrijvingen, volkshuisvesting enz.

VenW (2000c) beschrijft ook een iets minder extreme oplossingsrichting waarbij het Westen wel blijft bestaan maar steeds natter wordt. Het is waarschijnlijk dat hierdoor een ander soort economie zal ontstaan. Landbouw is in de natte delta vrijwel niet meer mogelijk. Deze zal daarom, net als de landbouwgebieden in het oosten en zuiden van het land, grotendeels verschoven worden naar het noorden (kop van Noord-Holland, IJsselmeergebied, Groningen en Friesland) of naar de grote graangebieden van Europa (VenW, 2000c).

## 5.4 Tweede kustlijn

In een paar studies en verschillende AVV workshops (Annex 2) wordt gesproken over de aanleg van een tweede kustlijn (VenW, 1986, Haak en Stokman, 2007). In deze variant wordt voor de Hollandse kust een dijk gevormd als nieuwe kustverdediging nabij de NAP -20 m kustlijn. De vrije afvoer van rivierwater naar zee wordt in meer of mindere mate gestopt. Het Deltagebied wordt gebruikt voor berging en van daaruit wordt het rivierwater naar zee gepompt.

De studies verschillen in welke delen van de oude kust een open verbinding met de zee blijven behouden. In VenW (1986) wordt de Westerschelde afgedamd. In meer recente studies naar een tweede ringdijk blijven de Nieuwe Waterweg, het Noordzeekanaal en de Westerschelde in open verbinding met de Noordzee staan, maar de getijdewerking in de Oosterschelde zal sterk worden verminderd. De benedenrivieren worden niet afgesloten van de Noordzee en de haven van Rotterdam behoudt een open verbinding met de zee.

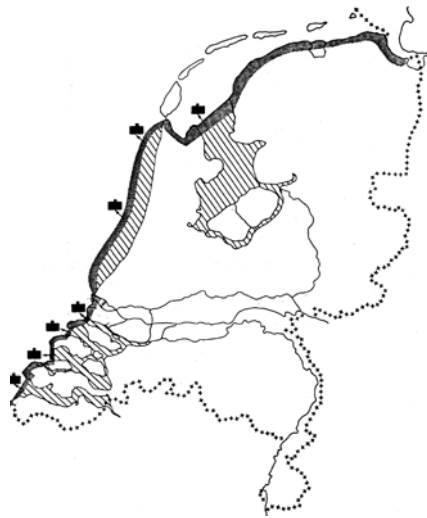
Deze tweede dijk omsluit een kustmeer (of meerdere meren), waarin ook rivierwater geborgen kan worden tijdens piekafvoeren wanneer het pompvermogen in de Delta onvoldoende is. Over of het zout, zoet of brak moet worden verschillen de studies.

Bij hoge rivierafvoeren zal het in ieder geval verzoeten. Als het meer zout moet blijven dan moeten er naast gemalen ook spuisluizen worden gemaakt die doorspoelmogelijkheden creëren om deze effecten te beperken (Figuur 5.4). Het voordeel van een zoet binnenmeer is dat er in erg droge jaren dus voldoende zoet water beschikbaar zal zijn voor de landbouw.

In de VenW (1986) studie vallen de Waddeneilanden buiten deze ringdijk (Figuur 5.4). In Haak en Stokman (2007) is dat ook zo, maar is er een optie om de Waddeneilanden met elkaar te verbinden. Bovendien stelt men in deze laatste studie vast dat de binnenmeren kunnen worden gebruikt als alternatieve energieopwekking. Zo zou een gedeelte van het binnenmeer moeten worden uitgegraven tot -100 m NAP. Overdag kunnen grote rivieren hierin hun water kwijt en wordt stroom opgewekt. 's Nachts (in de daluren) wordt het water er weer uit gepompt.

**FIGUUR 5.4**

Een ringdijk voor de Hollandse kust met daarin de locaties voor gemalen en spuisluizen (VenW, 1986).



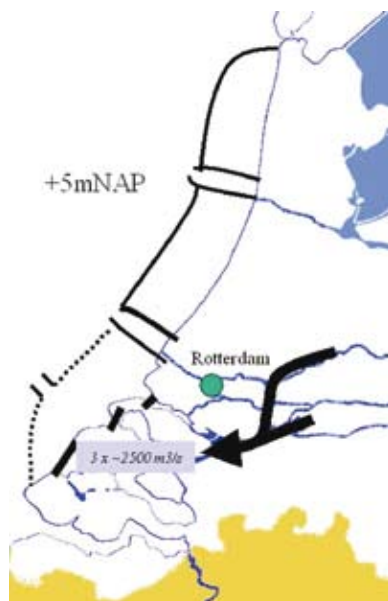
Het streefpeil van het randmeer moet lager zijn dan de stijgende zeespiegel van de Noordzee, bijvoorbeeld -1 m NAP. Op deze manier heeft het binnenmeer een functie voor waterberging en het tegengaan van zoute kwel (VenW, 1986). Een brak bekken zou volgens deze studie teveel nadelen hebben. De verblijftijd in het bekken moet daarnaast liefst kleiner dan 1 maand zijn, anders zouden er mogelijk door verzoeting en de te geringe doorspoeling eutrofiëringverschijnselen kunnen optreden. De afvoer van rivierwater geschiedt geheel kunstmatig.

Verder vervalt een aantal functies van de huidige kust. Bij een goede vormgeving kunnen deze worden overgenomen door de nieuwe ringdijk. De nieuwe kwelsituatie in Noord en Zuid-Holland zal onder meer afhankelijk zijn van het peil in het kustmeer. De ringdijk zal na gereedkomen geleidelijk met het tempo van de zeespiegelstijging kunnen worden verhoogd.



FIGUUR 5.5

Aanleg van een tweede kustlijn, met daarachter twee (drie) grote opslagbekkens. Er blijven vrije openingen met de Nieuwe Waterweg, het Noordzeekanaal en de Westerschelde. Als er een derde bekken komt bij Zeeland moet al het rivierwater met een gemaal worden uitgeslagen op de Noordzee. Hiervoor is ongeveer  $3 \times 2.500 \text{ m}^3/\text{s}$  aan capaciteit nodig en een vergroting van de spuicapaciteit door het weghalen van bestaande dammen en sluizen (AVV, expert workshop, 2007; Annex 2).



Het voordeel van een variant met permanente keringen in de Nieuwe Waterweg en Zeeuwse wateren is dat de benedenrivieren en de Zeeuwse delta worden afgesloten van het getij, waardoor de dan secundaire dijken daar niet hoeven te worden verhoogd. De bestaande stormvloedkeringen (Oosterscheldekering en Maeslantkering) worden dan opgeheven (Figuur 5.5). De afvoer van de grote rivieren komt in de Zeeuwse wateren terecht van waaruit het water wordt uitgeslagen met enorme gemalen. Dit heeft wel als voorwaarde dat de spuicapaciteit omhoog moet bijvoorbeeld door het aanpassen of verwijderen van de Volkeraksluizen / dam, Grevelingendam, etc. Ook de Haringvlietkering, Brouwersdam en Oosterscheldekering moeten een supergemaal krijgen. Voor Rotterdam geldt dat er een minder gemaalcapaciteit nodig is wanneer de afvoer van de Lek deels kan worden afgeleid naar de Zeeuwse wateren, bijvoorbeeld door rivierverruiming. Grootschalige pompcomplexen in de Nieuwe waterweg zijn waarschijnlijk ook niet reëel omdat de Nieuwe Waterweg niet breed genoeg is om dit te kunnen herbergen. In de variant dat ook de Nieuwe Waterweg wordt afgesloten moet de Rotterdamse haven geheel worden verplaatst richting de Maasvlakte. Zoals ook al in Klijn et al. (2007) vermeld is, is de benodigde capaciteit om piekafvoeren van de rivieren uit te slaan enorm. Er is een aantal gemaalcomplexen nodig met een capaciteit van  $2.000\text{--}3.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Hiervoor is per gemaalcomplex een energiecentrale nodig van ongeveer 2.700 Megawatt.

## Rivieren

Zowel tijdens de AVV workshops (Annex 2) als in de literatuur wordt het belang onderstreept van het zoveel mogelijk vrijhouden van het rivierengebied van centraal Nederland en de IJssel. De overeenkomst tussen de verschillende studies is dat men het belangrijk vindt dat er een goede doorstroom is van de centrale rivieren (Maas, Waal, Lek) naar de Zeeuwse wateren. Op termijn kan op die manier piekwater tijdelijk worden geborgen. Enkele studies hebben ook gekeken naar de mogelijkheid om meer water over de IJssel af te voeren. Zo heeft de studie "Rijn op Termijn" (WL | Delft Hydraulics,



1998) gekeken naar de mogelijkheid om 5.000 m<sup>3</sup>/s uit het stroomgebied van de Rijn via de IJssel af te voeren. De piekafvoer van de Rijn moet dan deels door de IJssel worden geleid naar het IJsselmeer, van waaruit het water naar de Waddenzee wordt gepompt. Dit vereist een verbreding van het winterbed in het IJsseldal. De grootste knelpunten zijn: Arnhem-Zuid (Westervoort), Zutphen-West, Deventer-West en Kampen-Oost (IJsselmuiden) waarbij er dan nieuwe bypasses nodig zijn om deze knelpunten te ontzien. Ook vraagt deze variant om een aangepaste waterverdeling bij de Pannerdense Kop en de IJsselkop. Het afleiden van deze extra afvoer van de Boven-Rijn gebeurt via een overlaat bij Spijk, het Rijnstrangengebied en een groene rivier langs Duiven en Zevenaar en via Lijmers-Bingerden naar de IJssel (zie Figuur 5.6).

**FIGUUR 5.6**

Tracé Groene Rivier langs de IJssel (bron: Wldelft, 1998)



Volgens deze studie leent de IJssel zich het meest voor de ontwikkeling van een nagenoeg natuurlijke rivier; de IJssel is een natuurlijk rivierdal met geleidelijk oplopende oevers en heeft daardoor een geringe inundatiediepte. Zoals eerder vermeld stelt Boorsma (1996) dat de afvoer richting zowel Zeeuwse wateren als Waddenzee als voordeel heeft dat hier het grootste getijverschil heerst en er dus lang onder vrij verval kan worden gespuid, ook als de zeespiegel nog meer zou stijgen.

Voor de Maas is de studie Integratie Verkenning Maas 2 (IVM 2, VenW 2006d) uit 2003 voorhanden. Deze studie heeft verkend met welke maatregelen hogere afvoeren in de Maas opgevangen zouden kunnen worden, rekening houdend met de ruimtelijke kwaliteit van het gebied, en welke ruimte daarvoor nodig zou zijn. Bij het samenstellen van het IVM maatregelenpakket is uitgegaan van een afvoer op lange termijn van 4.600 m<sup>3</sup>/s en met uitgevoerde hoogwaterbeschermingsmaatregelen van de Maaswerken in 2015/2017 als vertrekpunt. Oplossingsrichtingen liggen bij voorkeur in het geven van meer ruimte aan de rivier door middel van weerdverlaging, uiterwaardverlaging, het verwijderen van knelpunten, nevengeulen en zomerbedverbreding. Binnendijkse maatregelen zijn alleen opgenomen als buitendijkse maatregelen op lange termijn niet toereikend zijn.

## Waddenzee en IJsselmeer

Tot begin jaren '70 bestonden er serieuze plannen om grote delen van de Waddenzee in te polderen. Bij de eerste plannen voor de aanleg van de afsluitdijk wordt er al aan gedacht om dammen tussen de eilanden te bouwen en de Waddenzee droog te leggen maar dit idee blijkt dan nog niet technisch haalbaar. Dat blijkt wel uit het mislukken van de verbindingsdam naar Ameland. Onder leiding van jonkheer Teding van Berkhout wordt in 1871 door de 'Friesche Maatschappij tot Landaanwinning op de Friese Wadden' een dam aangelegd tussen Holwerd en Buren op Ameland. Doel is om zo het proces van aanslibben te versnellen en zo landbouwgrond te verkrijgen. Tien jaar later is de nieuwe dam zo beschadigd door stormen dat hij moet worden opgegeven. Bij laag water zijn nog resten van deze dam terug te vinden.

Na de watersnoodramp van 1953 werden niet alleen de zeearmen in Zeeland afgesloten maar werd het inpolderen van de Waddenzee ook opnieuw bekeken. Men kwam met het plan als afgebeeld in Figuur 5.7. In 1961 werd de commissie "Verbinding Ameland-vaste wal" opgericht met (opnieuw) het doel om een dam aan te leggen tussen Ameland en de vaste wal. De commissie kwam met een plan om Ameland door middel van twee dammen met de vaste wal te verbinden. Behalve landbouwgrond zou dit extra inkomen uit recreatie opleveren voor de Amelanders en extra zoetwaterbekkens. Dit laatste aspect komt ook weer terug in het plan Boorsma (2005).

**FIGUUR 5.7**

Inpoldering van de Waddenzee door Gerbrand Gaaff, overgenomen van een schoolplaat uit ca 1960 (bron: <http://diggelfjoer.swalker.nl/>).



Voor het IJsselmeer zijn er de studies "Markeroog" van Geuze (2006) en Waterhuishouding in het Natte Hart (WIN) (VenW, 2007b). Het plan Markeroog voorziet in de aanleg van een nieuwe stad op eilanden tussen Almere en de kust van Waterland in Noord-Holland. Tegelijk wordt een dijk aangelegd tussen Almere en Marken ter beveiliging van het noordelijk deel van de Randstad tegen overstromingen als gevolg van de zeespiegelstijging. Over de dijk komt een snelweg. Daarmee komt de noodzaak te vervallen van de aanleg van de IJmeerbrug. De extra verbinding tussen Almere en de Noordvleugel van de Randstad - Amsterdam en Schiphol - wordt gerealiseerd via dit nieuwe Almere-Pampus en Waterland.

De studie Waterhuishouding in het Natte Hart (WIN; VenW, 2007b) beschrijft welke maatregelen er worden getroffen voor het behouden van de functie van het IJsselmeer als zoetwaterbekken. Het rapport stelt verder randvoorwaarden aan buitendijks bouwen. Onder extreme omstandigheden blijkt dat gemaaicapaciteit in IJmuiden onvoldoende is om de streefpeilen in het Noordzeekanaal en het Amsterdam-Rijnkanaal te handhaven. Daarom is besloten om de capaciteit fors uit te breiden.

## 5.5 Kustverbreding en Eilanden

Relatief veel studies kiezen ook voor kustverbreding of eilanden voor de kust. Kustverbreding heeft als voornaamste doelen de veiligheid te waarborgen en de ruimtedruk van de Randstad te verminderen. Eilanden voor de kust kunnen de veiligheid bevorderen door het verminderen van de golfhoogte en hebben eveneens als doel de ruimtelijke kwaliteit te verbeteren, maar waarborgen daarnaast ook de gunstige ligging van de bestaande badplaatsen.

Als we kijken naar studies over kustverbreding dan is het plan Waterman (1981) het meest bekend. Het plan Waterman voorziet in het winnen van 3.000 hectare land op de Noordzee tussen Hoek van Holland en Den Haag. Door geconcentreerde zandsuppletie op zogenaamde zandhoofden wordt het zand op natuurlijke wijze langs de kust verspreid. Als ordegrootte voor deze kustuitbreidingen kan worden gedacht aan hoofden van ongeveer 20 miljoen m<sup>3</sup>. Dit komt overeen met de hoeveelheid zand die is gebruikt voor de aanleg bij Hoek van Holland van wat de Van Dixhoorn driehoek wordt genoemd.

Bos (2001) bouwt voort op bestaande plannen voor kustuitbreiding zoals de het plan Waterman of de studie van het WNF 'Meegroeien met de Zee' (1996). Bos noemt de plannen Waterman en het plan van Ballotra erg interessant omdat deze voorzien in een kustuitbreiding en het behoud van de holle kustlijn. Deze plannen houden dus rekening met de natuurlijke processen. De Bos variant hierop voorziet in een kustuitbreiding van circa 55.000 ha voor de Hollandse kust met ruimte voor natuur en recreatie. Bos gaat een stap verder en voorziet een zeewaartse verschuiving van de kustlijn van Haamstede via Hoek van Holland tot Den Helder met drie tot acht kilometer. Ook in de studie Nederland Later (MNP, 2007) en in een strategisch plan van de provincie Zuid Holland (2006) wordt een kustuitbreiding geanalyseerd (Figuur 5.8).

**FIGUUR 5.8**

Het Plan Waterman (1981),  
De Bosvariant (2001),  
Plan Provincie Zuid Holland  
(2006)

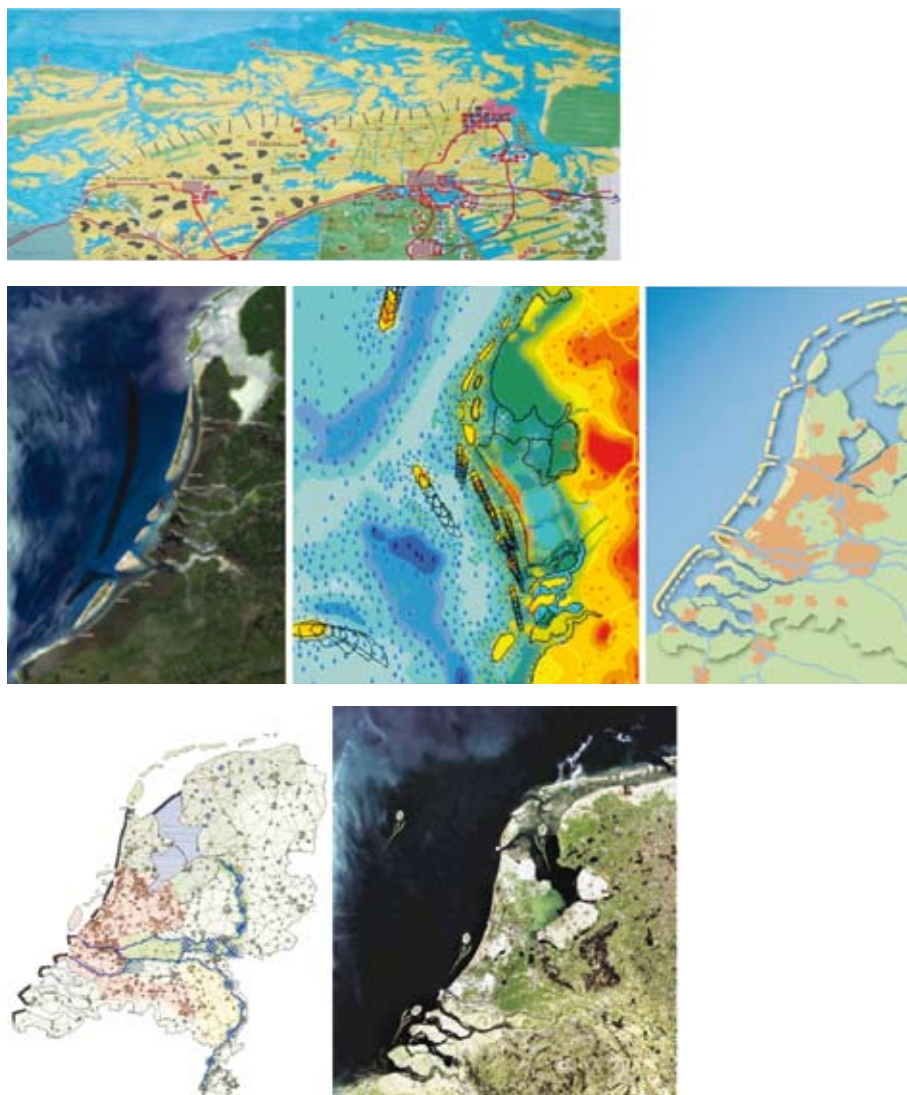


Plannen voor eilanden zijn er ook (Figuur 5.9). Zo is er de discussie over Schiphol in zee (WL | Delft Hydraulics, 1998). Het meest recent zijn de studies van RPB (2002, zie Aerts en Walraven 2008), Boorsma (2005), Geuze (zie Aerts en Walraven 2008), Eilanden in het Noorden (rede van commissaris van de koningin Hans Alders (Roggema et al., 2006) en het Tulp eiland van het Innovatie Platform (zie Aerts en Walraven 2008).

Het centrale idee is om een nieuw Waddengebied te creëren voor de Nederlandse kust. De golfploop naar de oude kust zou met enkele meters kunnen worden verlaagd (Boorsma, 2005). Ook zou met deze nieuwe Waddeneilanden mogelijkheden ontstaan ten behoeve van ontwikkeling van flora, fauna, recreatie en stedelijk ontwikkeling. Grondige modelstudies moeten uitwijzen of eilanden ook een gunstig effect hebben op veiligheid en of de zandmotor juist niet wordt verstoord. VenW (2000c) schrijft hierover dat een eiland voor de kust een goede mogelijkheid biedt voor het opvangen van stedelijke ontwikkeling en economische groei. Hiermee kan tevens de verdere druk op het Groene Hart en het duingebied enigszins worden verlicht. De ontwikkeling van dergelijke eilanden hebben mogelijk negatieve gevolgen voor het waddengebied in verband met het afvangen van slib en voedsel.

**FIGUUR 5.9**

Verschillende kustvisies met het Eilanden in het Noorden (boven), Plan Geuze (Midden links), Naar Zee (midden), Plan Boorsma (midden rechts), Waterlast of waterlust (links onder), Tulpeiland (rechtsonder)



## 5.6 Veiligheid en energie

Recentelijk zijn er in het kader van het 75 jarig bestaan van de Afsluitdijk nieuwe ideeën geopperd om deze dijk niet alleen te verstevigen maar ook te gebruiken voor het opwekken van alternatieve energie. Zo is het idee geopperd een krachtcentrale te bouwen bij de Afsluitdijk (NRC, 2008). De centrale werkt op het elektrische potentiaalverschil tussen zoet en zout water. Verder heeft Wubbo Ockels (2008) heeft het idee geopperd niet alleen te versterken maar ook twee tot drie kilometer verderop een nieuwe dijk aan te leggen. Het tussenliggende meer wordt gebruikt voor de opslag van energie.

Het idee om investeringen voor veiligheid te koppelen aan energie opwekking is ook beschreven in de plannen van Haak en Stokman (2007). Deze laatste studie beschrijft de aanleg van een tweede kering voor de kust waardoor er drie binnenzeeën ontstaan. Hierin worden twee gaten gegraven van 4 km breed en 10 km lang en die krijgen een

107

FIGUUR 5.10

Het doel is de aanleg van een waterkrachtcentrale in het Markermeer.





## 5.7 Wonen op de dijk

Superbrede dijken bestaan al een tijd. Het zijn brede, bebouwde dijken met een heel flauw binnentalud (1:30) (Figuur 5.11). Grote Japanse steden worden bijvoorbeeld deels beschermd door aardbevingsvaste superdijken van soms 10 m hoog en 300 m breed. Twynstra Gudde (2006) schrijven dat de toepassing er van duurder zal zijn dan de huidige dijkversterkingen door de grotere totale massa. Echter, door functiecombinaties (en terugverdienmogelijkheden als gevolg van bijvoorbeeld woningenbouw op de dijk) kunnen de kosten worden gedrukt. Een nieuwe superdijk met een nieuwe ruimteclaim kan weerstand oproepen maar ter vervanging van bestaande dijken is het idee mogelijk haalbaar. Recent is dit idee weer in het nieuws door het project Comcoast (2007) en Vellinga (2008).

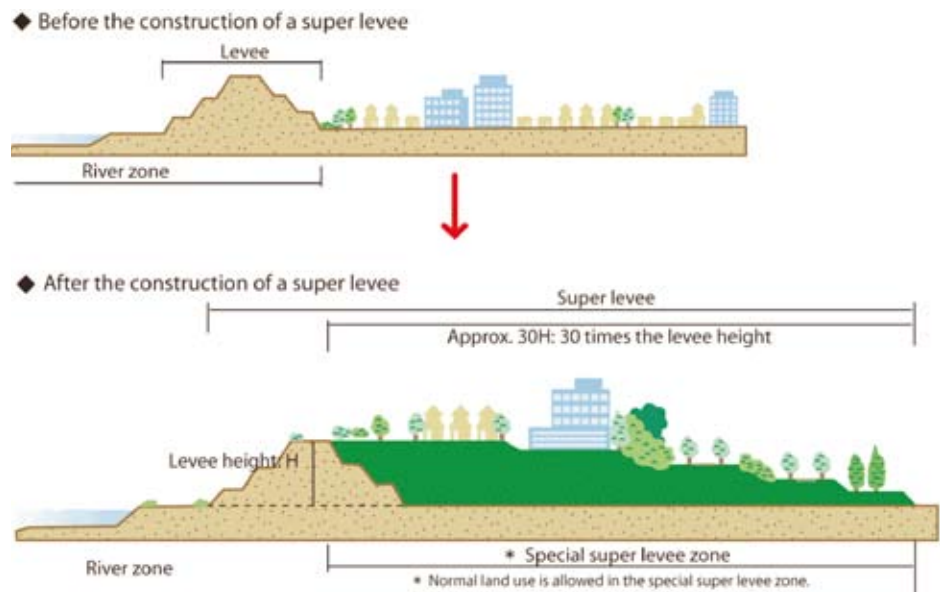
Het rapport 'Combikering Den Helder?' (VenW, 2004b) is een verkenning naar de haalbaarheid van multifunctioneel ruimtegebruik in de zeekering van de toekomst, in zowel technisch, maatschappelijk als bestuurlijk-juridisch opzicht. Het project heeft vier mogelijke oplossingsrichtingen ontwikkeld waarbij keringen zijn gecombineerd met bebouwing. In bijvoorbeeld het idee 'Dijkstad' heeft de toekomstige zeedijk dezelfde omvang als nu en bevinden zich op de dijk waterkerende huizen en hotels. Een technische haalbaarheidsstudie liet zien dat Dijkstad de veiligheid van het achterland kan blijven waarborgen, nu en in de komende eeuw. Op juridisch gebied biedt deze optie goede mogelijkheden. De verwachting is dat de kosten van de dijk weliswaar hoger zijn, maar dat geldt ook voor de baten.

Volgens Twynstra Gudde (2006) hoeven de kosten niet veel af te wijken van de aanleg van traditionele dijken (verhogen en verbreden), namelijk 5 miljoen euro/km. De maatregel wordt minder interessant wanneer grond moet worden aangekocht. Hierdoor kunnen kosten aanzienlijk oplopen (een ruwe schatting is 30-40.000 euro/ha).

108

FIGUUR 5.11

Ontwikkeling van van een reguliere dijk (boven) tot een 'superdijk' (onder) (AJRM, 2007)



Op basis van een serie expert workshops (Annex 2) en de inventarisatie van bestaande ideeën en visies zoals beschreven in Hoofdstuk 5 is ervoor gekozen om twee oplossingsrichtingen in meer detail uit te werken, namelijk een 'Business as Usual'-oplossingsrichting (BAU) en "Ophoog oplossingsrichting". Deze twee oplossingsrichtingen zijn gekozen om het effect van het beheersen van de overstromingskansen (BAU) af te zetten tegen het reduceren van het overstromingsgevolg. Het zijn dus nadrukkelijk geen reële alternatieven. De achterliggende gedachte is dat we in deze studie op zoek zijn naar bandbreedtes, zowel in scenario's en effecten als in de oplossingsrichtingen. Ook is globaal naar combinaties van deze twee oplossingsrichtingen gekeken. Verder is er een verkenning gemaakt van oplossingen voor wateroverlast. De beschrijving van de oplossingsrichtingen en de combinaties ervan staan in de volgende paragrafen:

- 6.1 De 'Business as Usual'-oplossingsrichting (BAU);
- 6.2 De oplossingsrichting 'Nederland Omhoog';
- 6.3 Combinatie BAU + Nederland omhoog: "Randstad Veilig";
- 6.4 Analyse van adaptatiemogelijkheden voor het beheersen van wateroverlast.

De eerste oplossingsrichting "Business as Usual" (BAU) heeft als doel de veiligheid tegen overstromingen te beheersen door het huidige beleid te continueren. Dat wil zeggen dat er met dijkverhogingen, en indien mogelijk rivierverruiming, wordt geanticipeerd op klimaatveranderingen en de daarmee samenhangende toenemende kans op een overstroming. Met deze extra investeringen, dus additioneel ten opzichte van het reguliere onderhoud, wordt steeds aan de wettelijke overschrijdingsnorm voldaan. Ook als het klimaat gaat veranderen. De BAU oplossingsrichting kan dus worden samengevat als een oplossingsrichting die de kansen op overstromingen gelijk houdt aan de huidige wettelijke overschrijdingsnorm. De BAU oplossingsrichting en de daarmee samenhangende kosten worden uitgebreid besproken in het AVV rapport van Sprong (2008).

Voor de tweede oplossingsrichting "Nederland Omhoog" is de insteek anders. Hier wordt bekeken in hoeverre met additionele maatregelen in de ruimtelijke ordening de gevolgen van een overstroming kunnen worden gereduceerd. Op basis van literatuuronderzoek en de AVV expert workshops is besloten naar het effect van ophogen te kijken voor alle nieuwbouw wijken in de lage delen van Nederland ("Nederland omhoog"). Andere mogelijke maatregelen in de ruimtelijke ordening zijn vooralsnog buiten beschouwing gelaten.

Ook wordt er kort gekeken naar de combinatie BAU + ophogen op nationaal niveau. Deze combinatie is in meer detail geanalyseerd voor de regio Randstad ("Randstad Veilig"). De oplossingsrichting Randstad Veilig en de daarmee samenhangende kosten worden uitgebreid besproken in het AVV rapport van Aerts et al. (2008b).

Als laatste wordt in paragraaf 6.4 een samenvatting gegeven van de belangrijkste bestaande opties met betrekking tot het beheersen van wateroverlast. Er is voor wateroverlast dus geen nieuwe analyse gemaakt van mogelijke oplossingsrichtingen.



## 6.1 Business As Usual (BAU)

In de oplossingsrichting BAU wordt verondersteld dat Nederland in de toekomst er niet wezenlijk anders zal uitzien dan nu en dat de huidige aanpak voor de beveiliging van ons land tegen overstroming gehandhaafd blijft. De maatregelen onder de BAU variant bestaan dus uit dijkverhoging, rivierverruiming en uitbreiding van gemaalcapaciteit (Figuur 6.1).

Er wordt uitgegaan van de huidige normen. Deze zijn maatgevend voor de vraag of er voor de diverse toekomstscenario's maatregelen moeten worden getroffen en zo ja hoe omvangrijk de maatregelen moeten zijn. Wel is aangenomen dat in 2015 alle keringen aan die normen voldoen en dat onder andere het huidige hoogwaterbeschermingsprogramma is uitgevoerd. Dit betekent dat wordt aangenomen dat de zwakke schakels op orde zijn, het probleem met piping is opgelost, de verzwarende van de Afsluitdijk is gerealiseerd en dat ook de verdere tekorten zoals gesignaleerd bij de laatste toetsing van 2006 zijn weggewerkt. Tevens wordt aangenomen dat in 2015 het basispakket van de PKB Ruimte voor de Rivier is gerealiseerd evenals de Maaswerken.

Binnen de BAU oplossingsrichting wordt verder aangenomen dat – ook bij een extreem scenario van +5 m zeespiegelstijging – er geen land wordt opgegeven. Zeeland en ook de Waddeneilanden behouden hun huidige vorm, de huidige kustlijn blijft gehandhaafd, het rivierengebied blijft waterstaatkundig vrijwel zoals het nu is, evenals het IJsselmeergebied, behoudens enkele wijzigingen in peilniveaus. De grote waterstaatkundige werken zoals de Deltawerken (de stormvloedkeringen, SvK's), de Maeslantkering, de Afsluitdijk worden zo nodig aangepast opdat ze hun functie kunnen blijven vervullen.

Voor het IJsselmeergebied wordt uitgegaan van een differentiatie van het peil over de diverse meren. Het Markermeer, het IJmeer en de Randmeren langs de Veluwe behouden hun huidige peil. Het (kleine) IJsselmeer volgt de zeespiegelstijging, waarbij wordt aangenomen dat de nu voorgenomen vergroting van de spuicapaciteit voor 2015 is gerealiseerd. Bij Ramspol wordt zo nodig de kering aangepast, zodat achter de kering het huidige peil kan worden gehandhaafd. Hierdoor zijn bij een verdergaande zeespiegelstijging achter deze kering geen grote aanpassingen van de waterkeringen nodig. Wel is dan nodig dat er bij Ramspol een groot gemaal komt om het water van het achterliggende gebied naar het IJsselmeer te kunnen brengen. Verder is bij stijgende zeespiegel een uitbreiding van de gemaalcapaciteit bij IJmuiden nodig om het peil op het Markermeer, IJmeer, etc. te kunnen handhaven.

FIGUUR 6.1

Schematische voorstelling van de belangrijkste maatregelen in de oplossingsrichting Business As Usual (BAU).



In het zuidwesten van ons land blijft de waterstaatkundige inrichting vrijwel zoals deze nu is. Aangenomen is dat de bodemligging van de diverse riviertakken door baggeren op het huidige niveau gehandhaafd wordt ook bij een stijgende zeespiegel. Het Zoommeer behoudt zijn huidige peil, dan is echter ook hier bij stijgende zeespiegel een gemaal nodig om het peil te kunnen handhaven. De capaciteit zal moeten worden afgestemd op het waterbezwaar van westelijk Noord-Brabant.

De toename van de rivierafvoeren wordt voor het merendeel opgevangen door deze meer ruimte te geven. De aanpak zoals neergelegd in de PKB Ruimte voor de Rivier en in de Integrale Verkenning Maas wordt hierbij gevolgd. Dit betekent in grote lijnen dat er langs de gehele Waal maatregelen in de uiterwaarden worden getroffen, dat de binnendijkse maatregelen waarvoor in de PKB ruimte is gereserveerd, worden uitgevoerd en dat water wordt afgeleid naar Zoommeer en Oosterschelde. De afvoerverdeling van de Rijn wordt bij extreem hoge afvoeren dusdanig aangepast dat de afvoer over de Nederrijn/Lek niet groter wordt dan nu bij de maatgevende afvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith het geval is. Langs de Maas worden de maatregelen zoals geschetst in de Integrale Verkenning Maas (IVM, VenW 2006d) uitgevoerd.

In deze oplossingsrichting worden de dijken aangepast aan de stijgende zeespiegel: in het benedenrivierengebied, in de benedenloop van de IJssel, langs het (kleine) IJsselmeer en langs de kust en de Deltawateren. Ook wordt aangenomen dat de zandige kust op zijn plaats kan worden gehouden door periodieke zandsuppleties.

Op termijn moeten ook de grote kunstwerken zoals de stormvloedkeringen worden aangepast. Dat is in de kostenbepaling (Hoofdstuk 8) nog niet meegenomen in deze studie. Er bestaat nog discussie over het tijdstip van aanpassen en of aanpassing dan is toe te schrijven aan periodiek onderhoud of zelfs afschrijving, of dat onderhoud of vervanging nodig is door versnelde zeespiegelstijging.

## 6.2 Oplossingsrichting Nederland Omhoog

De oplossingsrichting “Nederland Omhoog” is ingegeven vanuit de gedachte dat door een andere inrichting van het land en een aangepaste wijze van bouwen de gevolgen van een overstroming kunnen worden beperkt. Het concept Nederland Omhoog omvat het idee om met lokaal gewonnen zand en zand uit de Noordzee, locaties voor nieuwe stadswijken en industriegebieden in laag Nederland eerst op te hogen tot +5 m boven NAP (zie ook Bannink, 2004). Onder deze opgehoogde wijken ontstaat ruimte voor andere functies zoals infrastructuur.

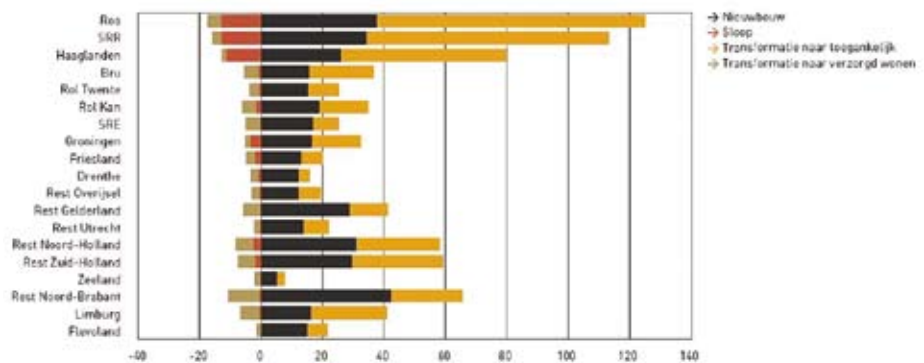
Uit studies van onder andere het MNP (2007) blijkt dat er de komende 30-40 jaar tussen de 500.000 en 1.500.000 nieuwe woningen worden gebouwd. Voor de periode 2002-2010 wordt rekening gehouden met 75.000 nieuwbouw woningen per jaar en met 41.000 woningen die moeten worden gesloopt (VROM, 2004). Van deze nieuwbouwwoningen wordt 40% in stedelijke omgeving gerealiseerd (Movares, 2008).

In termen van nieuw bebouwd oppervlak blijkt uit de scenario's beschreven in Hoofdstuk 2 dat het aantal ha nieuwbouw tot 2040 in de lage delen van Nederland globaal tussen de 40.000 ha en 140.000 ha ligt. Tot 2100 ligt het totaal aantal ha nieuwbouw tussen de 60.000 ha en 260.000 ha. In beide gevallen is deze marge bepaald door aan de ondergrens uit te gaan van het RC scenario en bij de bovengrens van het GE scenario (Zie Hoofdstuk 2). In Figuur 6.2 is te zien dat tot het jaar 2020 de meeste nieuwbouw wordt gerealiseerd in de laagste delen van Nederland: SRR (Stadsregio Rotterdam), Haaglanden, rest Zuid-Holland, Noord-Holland, Groningen/Friesland. Daarnaast wordt ook relatief veel in Brabant gebouwd.

112

FIGUUR 6.2

Aantal koopwoningen en  
sloopwoningen per regio tot 2020



### Hoe ziet een opgehoogde wijk eruit?

Figuur 6.4 geeft een weergave van een opgehoogde nieuwbouwwijk. Hierbij wordt een vergelijking gemaakt van een “normale Vinex wijk” en een opgehoogde wijk. Deze constructie kan globaal worden gevolgd in gebieden met een stevige ondergrond zonder veel additionele constructie en onderhoudskosten. De ophoging kan op sommige plaatsen een kilometer breed zijn en heeft niet overal een uniforme aflopende rand. Door met inhammen in het talud te werken wordt een afwisselend landschap verkregen met veel ruimte voor natuurlijke gradiënten.

Bij een slappe ondergrond zoals veen zijn wellicht alternatieve constructies en materialen zoals “zandpalen” of EPS (geëxpandeerd polystyreen) ook wel tempex genoemd, toepasbaar (Aerts et al., 2008b). Deze ophoogconstructie is vanzelfsprekend duurder vanwege de relatief hoge kostprijs van tempex (zie onderstaande Figuur 6.3). Als dit echter financieel niet haalbaar is, kan er voor gekozen worden om in deze gebieden geen grootschalige woningbouw of industriële ontwikkeling toe te laten, de ophoging minder breed te maken of bijvoorbeeld drijvend te bouwen.

## Functie combinaties

De oplossingsrichting Nederland Omhoog gaat uit van het idee dat er een meerwaarde is in het bouwen van nieuwe woningen met een multifunctioneel ruimtegebruik concept. Dat wil zeggen dat het ophogen niet alleen nuttig is voor het reduceren van schade maar ook voordelig kan zijn voor andere activiteiten en functies. Zo wordt gedacht over het combineren van ophogen en het creëren van mogelijke vluchtplaatsen in geval er toch een overstroming optreedt (zie ook Reedt-Dortland et al., 2008). Ook kunnen onder de opgehoogde wijken andere functies worden ondergebracht zoals infrastructuur, waterberging, etc. Verder kunnen in een later stadium opgehoogde nieuwbouwwijken worden verbonden, bij voorkeur in combinatie met bestaande dijken. Zo ontstaan “superdijken” die de oude stadscentra beschermen: nieuwe wijken liggen immers vaak rondom de oude kernen.

## Ontwikkeling van de Terp

Nederland heeft een rijke historie met het ophogen van huizen en landerijen in de vorm van Terpen. Volgens wikipedia werden de eerste terpen gebouwd rond 500 v.Chr. In Nederland zijn 1190 terpen geweest. Friesland heeft er 955 gehad en Groningen 235. Ook in noord Duitsland bevinden zich terpen. In Schleswig-Holstein is momenteel nog een gebied met terpen en zonder zeedijken. De terpenbouw eindigde in Friesland, Groningen en Drenthe met de komst van de eerste dijken in het gebied, zo rond 1200. Aan het begin van de 20e eeuw werden veel terpen afgegraven. De hoogste terp van Nederland ligt 8,80 m boven NAP in het Friese Hogebeintum.

Verder zijn er meerdere initiatieven geweest met het idee van ophogen. Zo heeft het WINN project gekeken naar het ophogen van land door middel van baggerspecie (Bannink, 2004; WINN, 2006). In dit project wordt gesteld dat terpen een oplossing bieden voor wateroverlast en dat er minder depots nodig zijn voor de opslag van baggerspecie. Er is hier dus gedacht vanuit een concept van multifunctioneel ruimtegebruik. Het Ministerie van Verkeer en Waterstaat meldt op haar website:

*“Door onder andere een zeer succesvolle ideeëncompetitie en praktijkonderzoek op een jonge terp in de Klompenwaard, geniet het concept volop bekendheid. Dat het concept kansrijk is, blijkt inmiddels ook uit de vele initiatieven die er zijn om nieuwe terpen te realiseren in onder andere de Gendtse Waard, Zeeland en op diverse plekken in de provincie Groningen. Terpen staan ook als volwaardige optie in het nieuwe Besluit Bodemkwaliteit. De kansen voor nieuwe terpen zijn daarmee ook juridisch gezien aanzienlijk verruimd.” (www.waterinnovatiebron.nl)*



Het project AVV is op deze gedachte doorgegaan en verschillende kennisinstituten hebben het ophoogconcept van de terp bestudeerd op een groter schaalniveau. De aanleiding hiervoor zijn verscheidene AVV workshops geweest met experts (zie ook [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl)) en een studie van TNO waaruit bleek dat er voldoende winbaar zand in de Noordzee aanwezig is om grote delen van laag Nederland op te hogen (van der Meulen et al., 2007).

Ook een onderzoek aan de VU (Groot, 2006) laat zien dat er mogelijkheden zijn voor hernieuwde introductie van terpen en introduceert de term “Waterterp”. Groot schrijft dat om beter om te kunnen gaan met zowel het teveel aan water in de winter als het tekort aan zoet water in de zomer de terp uitkomst kan bieden. Een terp kan ongeveer drie keer de hoeveelheid nuttige neerslag die jaarlijks op zijn eigen oppervlak valt, bergen. De bergingscapaciteit van een ronde terp met een diameter van 300 m en een grondwaterpakket van 1.5 m dik is ruim 42.000 m³. Terpen kunnen gebruikt worden voor bewoning; dan zou het water er via putten in geïnfiltreerd

Het bedekken van  
een spoorlijn bij Barendrecht op  
deels een slappe ondergrond  
van veen. De kern van het Talud  
bestaat uit tempex (Movares,  
2007).



## 6.3 Combinatie BAU en Ophogen

### Combinatie BAU + NL Omhoog

In deze globale oplossingsrichting worden de dijken op orde gehouden volgens de huidige geldende normen: goede dijken geven immers de tijd om de gevolgenbeperkende maatregelen gefaseerd en uitgesmeerd over langere tijd uit te voeren. Tegelijkertijd worden de nieuwe stadswijken in de lage delen van Nederland opgehoogd tot +5 m NAP. In feite is deze combinatieoplossingsrichting een optelsom van de BAU en Nederland Omhoog oplossingsrichting. In het volgende Hoofdstuk 7 wordt gekeken naar de effecten op het schaderisico als deze combinatieoplossingsrichting zou worden uitgevoerd.

### Randstad Veilig

De combinatieoplossingsrichting “Randstad Veilig” is in meer detail uitgewerkt. Hierin worden superdijken rondom de Randstad ontwikkeld over een periode van ongeveer 100 jaar. Dit gebeurt door een combinatie van het ophogen van nieuwbouw en het verbinden van opgehoogde wijken tot superdijken. De combinatie oplossingsrichting Randstad Veilig wordt gefaseerd uitgevoerd in lijn met de twee zichtjaren 2040 en 2100. In deze oplossingsrichting worden de dijken op orde gehouden volgens BAU tot 2040. Tot die tijd worden eveneens nieuwbouw locaties opgehoogd, maar dan op vooraf aangegeven locaties (Figuur 6.3). Dat is bijvoorbeeld op plaatsen waar opgehoogde wijken gemakkelijk kunnen worden verbonden met bestaande infrastructuur zoals waterkeringen. Zo zijn bestaande keringen, spoordijken en snelwegen vaak al opgehoogd en is het daarom efficiënt de op te hogen woonwijken hier tegenaan te leggen. Maar ook wordt zoveel mogelijk aangesloten op natuurlijke hoogten en cultuurhistorische elementen zoals verdedigingslinies. Als een opgehoogde wijk langs water wordt aangelegd, wordt er een kerende werking verwacht van de randen van de wijk. Hier kan in extreme gevallen zelfs water over de dijk slaan waarbij woningen aan de rand wat overlast hebben. Echter, de overstromingskans van een opgehoogde wijk in combinatie met een kering aan de buitenzijde is te verwaarlozen en blijft de schade beperkt tot materiële waterschade (voor een overzicht van mogelijk combinaties van bestaande keringen en ophogen zie Aerts et al., 2008b). Verder wordt ook bekeken of oude stadswijken kunnen worden opgehoogd (Figuur 6.5). Het gaat hier niet om de historische wijken maar om wijken die worden gesloopt en opnieuw moeten worden opgebouwd en daarmee een rol kunnen spelen in het verbinden van de opgehoogde (nieuwe) wijken (dat is te zien in Figuur 6.5 midden en rechts).

Na 2040 worden de gefragmenteerde -opgehoogde- wijken samengevoegd tot superdijken. Daarmee is een zeer hoge veiligheid van het binnengebied gegarandeerd en worden de bestaande stadskernen beschermd. Daar waar oude stadskernen al aan het water liggen ligt het minder voor de hand om zeer brede dijken te ontwikkelen vanwege ruimtegebrek en kosten.

Verder wordt het binnengebied ook zoveel mogelijk vrij gehouden van verdere bebouwing en er is zelf ruimte voor vernatting. Op deze manier wordt rekening gehouden met de opwaartse druk van het grondwater door de hogere zeespiegel. Klijn et al., (2007)

schrijven hierover dat er een risico bestaat dat door deze druk veenpakketten gaan openbarsten. De functies van de aldus geformeerde superdijken wijken significant af van de functies van bestaande dijken: naast bescherming tegen het water zijn ze tevens in gebruik als leefgebied en kunnen andere functies worden geëxploiteerd. Voor het verbinden van de opgehoogde wijken zijn op sommige locaties verbindende keringen nodig.

Uit de figuur van het toekomstig landgebruik in Hoofdstuk 2 is een schets gemaakt van voorkeursgebieden waarbinnen wijken na ophoging zouden moeten worden ontwikkeld. Dit zijn gebieden waar volgens de GE en RC scenario's nieuwe woongebieden worden ontwikkeld. De voorkeursgebieden staan schematisch aangegeven in Figuur 6.3, links. De meer gedetailleerde locaties voor de superdijken staan met wit aangegeven in Figuur 6.3 (midden en rechts).

**FIGUUR 6.3**

Globaal beeld (links) van de zoekgebieden waarbinnen nieuwe wijken kunnen worden ontwikkeld en opgehoogd opdat belangrijke stedelijke regio's optimaal worden beschermd (bron: Deltares, 2007 in Aerts et al., 2008). Het middelste beeld geeft de meer gedetailleerde situatie aan in 2040. Rechts een mogelijk beeld voor 2100.



Voor wat betreft de aansluiting op een bestaande spoorbaan of snelweg wordt geanticipeerd op het mobiliteitsprobleem in met name de Randstad (zie schetsen ontwikkeld door VROM in het kader van de toekomst van de Randstad (VROM, 2002; Figuur 6.4). Voor de regio Randstad is dan ook de optie onderzocht om onder de opgehoogde woonwijken een tunnel aan te leggen voor vele vormen van infrastructuur. Als reden hiervoor wordt aangedragen dat de kosten voor de aanleg van een tunnel lager zijn dan het graven van een tunnel omdat de tunnel in deze oplossingsrichting boven het maaiveld wordt aangelegd om pas na aanleg te worden afgedekt met zand. De tunnel bestaat uit een betonnen bak gebouwd met een breedte van ongeveer 30 m. Deze constructie is waterdicht en wordt onderheid. In de tunnel kan railinfrastructuur en eventueel ook leiding- en kabel netwerk worden gelegd. In Figuur 6.5 is dit schematisch weergegeven voor een opgehoogde wijk in de stad.

**FIGUUR 6.4**

Schets in het kader van het Ontwerpatelier Randstad met de mogelijke locatie van een light rail verbinding.





**FIGUUR 6.5**



Voorbeeld van een stadsvernieuwingsproject die met ophoging waarbij bepaalde functies onder stadswijk worden geplaatst. Denk ook aan het ophogen van nieuwe stadswijken die tegen waterkeringen liggen: de historische oude stadscentra worden op deze manier beschermd door de nieuwe opgehoogde wijken.





## Resultaat simulatie Ophoogvariant 2040

De kaart met zoekgebieden zoals aangegeven in Figuur 6.3 (rechts) is als randvoorwaarde is ingevoerd in het model de Ruimtescanner (Koomen et al., 2008). De zoekgebieden krijgen daartoe een hoger gewicht mee ("een hoge geschiktheid"), naast de bestaande geschiktheidsregels zoals "nabijheid van intercity stations" en "de nabijheid van economische centra". Het resultaat van deze simulatie staat in Figuur 6.6. Er wordt overigens ook op andere locaties gebouwd, zoals in het oosten van het land. Zelfs in laag Nederland worden volgens het model nog steeds nieuwe woningen in laag gelegen gebieden gebouwd, maar alleen dan wanneer een nabij gelegen zoekgebied al is ontwikkeld.

De mogelijke uitwerking en inrichting van de variant "Randstad Veilig" voor 2040 wordt geïllustreerd in Figuur 6.7. Hierin is te zien dat er stedelijke uitbreiding, maar ook nieuwe glastuinbouw is ontstaan als linten tussen bestaande stadskernen. Deze nieuwe uitbreidingen zijn eveneens aangesloten op bestaande waterkeringen.

### FIGUUR 6.6

→  
Resultaat van een toekomstsimulatie van de oplossingsrichting "Randstad Veilig" voor het jaar 2040 (GE scenario, hoge bevolkingsgroei) waarbij als randvoorwaarde de zoekgebieden voor de op te hogen wijken zijn meegegeven aan het model de Ruimtescanner.



## Mogelijk Eindbeeldopgehoogde wijk

In Figuur 6.7 en 6.8 is een mogelijk eindbeeld voor 2040 gegeven van een ophoogde wijk. De wijk sluit aan bij een bestaande rivierdijk zodat er een superdijk ontstaat. Verder is er infrastructuur onder de wijk aangelegd zoals wegen en spoorlijnen. Met een lichtgekleurde zone is aangegeven dat de grondwaterspiegel onder de verhoogd aangelegde wijk hoger staat (in natte perioden) dan in het omringende lagere gebied. Het ophoogzand biedt mogelijkheden het overtollige regenwater tijdelijk te bergen onder de wijk en water hoeft dus niet direct af te stromen naar het omliggende gebied.

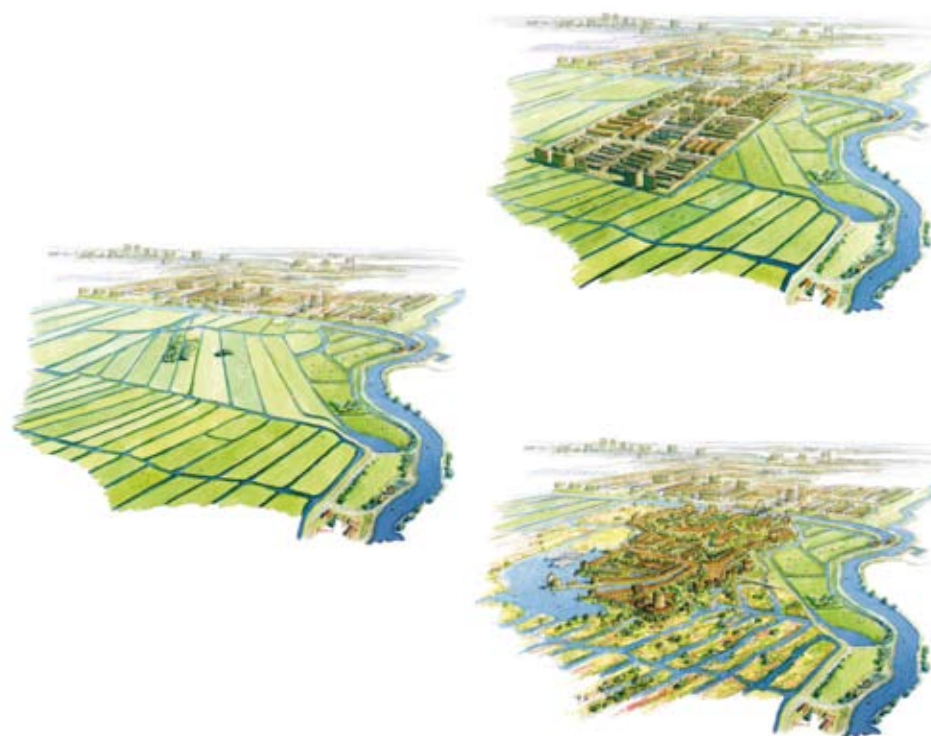
**FIGUUR 6.7**

Dwarsdoorsnede van een  
"Vinex Terp"



**FIGUUR 6.8**

Huidige stadsontwikkeling  
(rechtsboven) en "opgehoogde"  
stadsontwikkeling (rechtsonder).



## 6.4 Maatregelen ten behoeve van Wateroverlast

Het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) vat goed samen op welke manier lange termijn ontwikkelingen van invloed zijn op wateroverlast. Zo zal de toename in (extreme-) neerslag leiden tot meer lokale wateroverlast indien er geen aanvullende maatregelen worden genomen. Zeespiegelstijging en bodemdaling zorgen ervoor dat er meer gemaalcapaciteit nodig is ondermeer omdat er steeds minder onder vrij verval kan worden gespuid. Ook zorgt de verstedelijking ervoor dat de potentiële schade als gevolg van wateroverlast zal toenemen.

Zoals eerder beschreven heeft het NBW tot doel het watersysteem ook na 2015 het watersysteem op orde te houden, anticiperend op veranderende omstandigheden tot 2050. Het NBW stelt daarom ook een aantal structurele veranderingen voor in het watersysteem om hierop te anticiperen. Het NBW beschrijft dat er mogelijkheden zijn om de uitvoering van maatregelen met betrekking tot wateroverlast te combineren met plannen op andere beleidsterreinen, zoals de reconstructie van het landelijk gebied, de aanleg van de ecologische hoofdstructuur, winning van oppervlaktedelfstoffen, landinrichting en overige gebiedsgerichte projecten, cultuurhistorie, woningbouw en de aanleg van bedrijventerreinen en infrastructuur.

Kragt et al., (2006) heeft de het benodigde waterbergingsareaal geraamd op 70.000 ha als het WB21 middelsценario uit 2001 wordt aangehouden (voor het jaar 2050). Hiervoor is eerst het beschouwde oppervlak omgerekend naar een wateropgave in kubieke meters. Vervolgens is gesteld dat deze wateropgave voor 80% met bergen wordt opgelost. De rest van de opgave is verdeeld over vasthouden en afvoeren. Het vasthouden betreft stuwtjes in haarvaten in hoog-Nederland of natuurvriendelijke, glooiende oevers en 'slim', dynamisch stuwbeheer in laag-Nederland. Het bergen betreft voor het merendeel de aanleg van 'gestuurde' bergingsgebieden en het vergroten van het oppervlak open water. Veel waterschappen geven aan dat geborgen wordt met een gemiddelde diepte van 0,5 m. Uit een enquête onder de waterschappen uitgevoerd door de Unie van Waterschappen (UvW, 2007) blijkt dat grofweg 34% van de maatregelen voor het beheersen van wateroverlast bestaat uit vasthouden, 39% uit bergen en 27% uit afvoeren.

### Vergroten van de afvoercapaciteit

HKV (2005) geeft een overzicht van een aantal concrete maatregelen om de negatieve effecten van wateroverlast te verminderen. Dit is gedaan naar aanleiding van een studie naar de effecten van extreme neerslag in Friesland. Zo is een aantal maatregelen erop gericht om de afvoer te vergoten. Hierbij kan worden gedacht "aan het vergroten van de maalcapaciteit van de boezem naar het buitenwater, het vergroten van de boezemoppervlakte, het verhogen van de boezemkades. Deze maatregelen zullen er voor zorgen dat er minder vaak een maalbeperking ingesteld hoeft te worden" en er dus minder schade optreedt in de poldersystemen (HKV, 2005). Inmiddels hebben alle waterschappen dergelijke studies laten verrichten.

## Berging van water

Verder wordt gedacht aan extra tijdelijke berging in polders in periodes van extreme neerslag. Bij gebruik van deze zogenaamde "inundatiepolders" worden bestaande polders zo ingericht dat in tijden van wateroverlast water vanuit de boezem in de polders ingelaten kan worden (HKV, 2005). Na de overlast wordt het water vervolgens weer in de boezem teruggepompt. Het kan zowel om polders gaan die een natuurfunctie hebben als om polders die een agrarische functie hebben. Voorwaarde voor het gebruik van inundatiepolders is een goede financiële vergoeding voor de grondgebruikers en eigenaren en een mogelijkheid om deze gebieden ook adequaat in te richten (HKV, 2005).

De combinatie waterberging en natuur is echter niet altijd wenselijk omdat waterberging een belemmering kan vormen voor het realiseren van de natuurdoelstelling in het betreffende gebied. De Directie Platteland van LNV (zie Massop et al., 2003). heeft een studie uitgevoerd naar de combinatie van waterberging en natuur. Hierbij zijn de deelstroomgebiedsvisies van de provincies als uitgangspunt genomen voor 17 regionale stroomgebieden in Nederland. Over het algemeen wordt in de deelstroomgebiedsvisies waterberging gezien als oplossingsrichting voor het verminderen van wateroverlast. Daarnaast wordt ook gesproken van waterberging als oplossing voor watertekort (seizoensberging). Voor een aantal gebieden geldt dat een aanzienlijke hoeveelheid ruimte moet worden gereserveerd voor seizoensberging. Dit kan al dan niet gecombineerd gaan met natuur. Onderstaande Figuur 6.9 geeft een overzicht van het areaal aan benodigde waterberging (+/- 90.000 ha; zie ook Hoofdstuk 4, Figuur 4.16).

**FIGUUR 6.9**

Areaal aan benodigde waterberging in de deelstroomgebieden (Massop, et al., 2003)



Deelstroomgebied	primaire waterlopen (in ha)		Bergingsgebied/ retentiegebied (in ha)		Gebieden met variatie waterstand via primaire waterlopen (in ha)		Totaal aan berging (in ha)	
	2015	2050	2015	2050	2015	2050	2015	2050
Achterhoek Liemers	1000	2000	2141	4900	- <sup>3</sup>	-	3141	6900
Amstelland	-	-	-	800	-	3750	-	4550
Oost-Brabant West-Brabant	-	-	12759	24191	-	-	12759	24191
Flevoland	-	250	-	2500	-	100	-	2850
Fryslân	1500	2100	500-1000	1400	-	-	-	3500
Gelderse Vallei	-	-	1050	1050	-	-	1050	1050
Oost Groningen-Drenthe West Groningen-Drenthe	-	-	10810	14423	-	-	10810	14423
Midden-Holland	-	-	914	-	2165	-	3079	4471
Zuid-Holland Zuid	-	-	-	1776	-	-	-	1776
Limburg	498	1660	2800	3500	-	-	3298	5160
Noorderkwartier	1044	1861	267	518	-	-	1311	2379
Vecht/Zwarte Water	-	5000	-	10000	-	-	-	15000
Veluwe	50	100	62,5	250	-	-	113	350
Riviereengebied	1905	3250	360	2400	60	188	2325	6108
Zeeland	825	950	20	20	420	460	845	970
<b>Totaal</b>							<b>93678</b>	

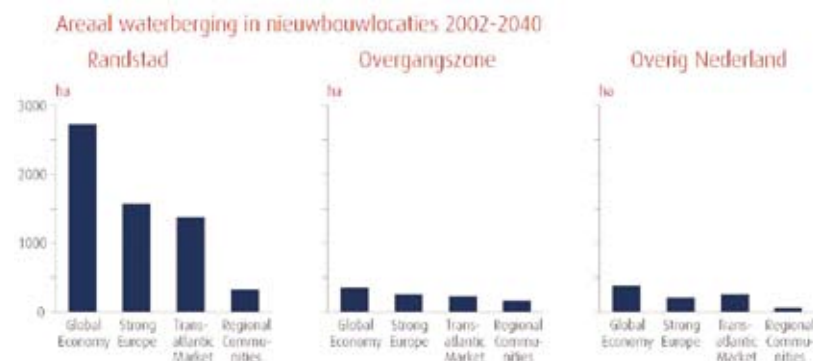
Het totaal benodigde geschatte areaal van ruim 90.000 ha ligt ongeveer een factor 1,5 hoger dan het areaal dat de Commissie Waterbeheer 21<sup>ste</sup> eeuw noemt. Voor de regionale watersystemen schat de Commissie WB21 dat tot 2050 ongeveer 60.000 ha nodig is voor retentiegebieden en voor vergroting van het wateroppervlak als onderdeel van het watersysteem om de maatgevende situatie op te kunnen vangen.

## Waterberging in het stedelijk gebied

Volgens de WLO (2006) studie naar de effecten van lange termijn ontwikkelingen neemt de verstedelijking in de meeste scenario's toe. Met name het westen van het land verstedelijkt sterk, tot maximaal 35 procent van de oppervlakte in Zuid-Holland in 2040 in het scenario Global Economy. Om overlast te beperken wordt in nieuwbouwlocaties direct areaal voor waterberging gereserveerd. De benodigde hoeveelheid ruimte voor water in deze nieuwbouwlocaties is onder andere afhankelijk van de diepteligging. Waterschappen in het westen van het land, onder andere in Rijnland, vereisen bijvoorbeeld dat tussen de 8 en 15% van het verstedelijkte areaal uit waterberging bestaat. Er wordt verondersteld dat in laag Nederland 10%, in midden Nederland 5% en in hoog Nederland nauwelijks ruimte wordt gereserveerd voor waterberging bij nieuwbouwwijken. Het regenwater kan daar makkelijker in de grond infiltreren. (Onder laag Nederland verstaan we hier de COROP-regio's die gemiddeld onder NAP liggen; midden Nederland ligt tussen Nul en drie meter NAP en hoog Nederland ligt boven drie meter NAP). De berekende arealen in Figuur 6.10 zijn gekoppeld aan de ruimtebehoefte voor woningen die in deze studie zijn berekend.

**FIGUUR 6.10**

Benodigd areaal waterberging  
in nieuwe stedelijke gebieden  
in 2002-2040 (bron: WLO, 2006).



Naast stedelijke waterberging kan ook worden gekeken naar het beperken van de gevolgen van wateroverlast door bijvoorbeeld het instellen van strengere bouwvoorschriften.

# Effecten van de oplossings-richtingen

In dit hoofdstuk worden de effecten besproken van de in Hoofdstuk 6 beschreven oplossingsrichtingen onder aanname van de lange termijn scenario's zoals besproken in Hoofdstuk 2. De effecten van oplossingsrichtingen wordt vergeleken met de effecten van de "Nul Referentie" die zijn beschreven in Hoofdstuk 4.

De analyse volgt dezelfde systematiek die wordt gevolgd in Hoofdstuk 4 en hanteert de volgende indicatoren:

- effect op de kans op een overstroming;
- effect op de potentiële schade als gevolg van een overstroming;
- effect op het schade risico (kans \* schade);
- effect op wateroverlast.

Het effect van oplossingsrichtingen op het potentiële aantal slachtoffers en slachtofferisico is in deze fase van het AVV project nog niet geanalyseerd.

## 7.1 Effect op de kans op een overstroming

Zoals beschreven is binnen het project AVV vooralsnog alleen naar overschrijdingskansen gekeken (Sprong en Aerts, 2008). Deze kansen gaan toenemen onder invloed van klimaatverandering wanneer er geen aanvullende maatregelen worden genomen.

In de BAU-oplossingsrichting wordt er vanuit gegaan dat de dijken worden verhoogd en versterkt en de rivieren worden verruimd, wanneer het klimaat gaat veranderen. De BAU- maatregelen staan beschreven in Hoofdstuk 6 en de kosten in Hoofdstuk 8. De uitwerking van de BAU-oplossingsrichting op het criterium overschrijdingskans is vrij eenvoudig: deze blijft gelijk aan de huidige overschrijdingskans omdat de dijken worden verhoogd totdat weer aan de huidige norm wordt voldaan.

Voor de oplossingsrichting Nederland Omhoog ligt dat anders. Hier wordt aangenomen dat alle nieuwe wijken in laag Nederland worden opgehoogd tot +5 m +NAP. Met andere woorden de overschrijdingskansen stijgen op gelijke wijze als bij "Nul referentie" maar de potentiële schade neemt minder toe dan bij de oplossingsrichting BAU.

Voor de combinatie oplossingsrichting "ophogen + BAU" worden de BAU maatregelen uitgevoerd en tevens worden de "nieuwe" wijken opgehoogd. Bij deze oplossingsrichting blijven dus de overschrijdingskansen gelijk aan de huidige. Voor de combinatieoplossingsrichting Randstad Veilig geldt dat in 2100 het schaderisico in alleen de regio Randstad tot nagenoeg Nul is gereduceerd door de aanleg van superdijken.

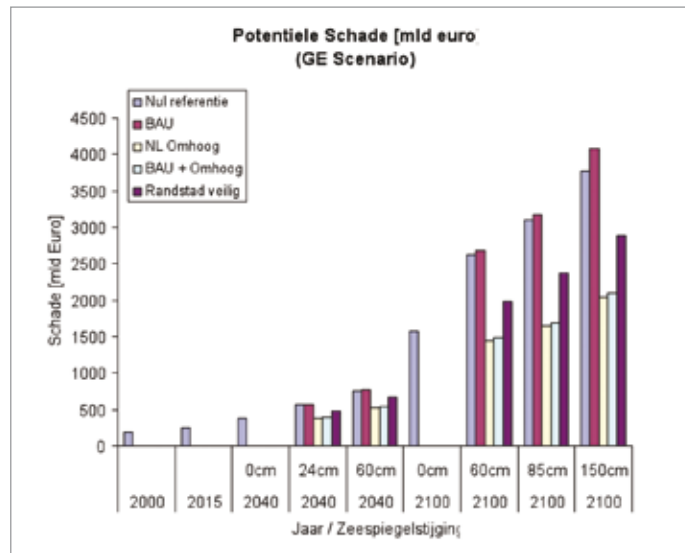
## 7.2 Effect op potentiële schade

Het effect van de oplossingsrichtingen op de potentiële schade is bepaald met de het model de “damage scanner” (Klijn et al. 2007; De Bruijn, 2008; Bubeck en Aerts, 2008). Globaal kan worden gesteld dat de BAU-oplossingsrichting als doel heeft de kans op een overstroming te reduceren (dat wil zeggen gelijk te houden bij verslechterende omstandigheden) terwijl de oplossingsrichting Nederland Omhoog aanstuurt op het reduceren van de gevolgen van een overstroming. De combinatieoplossingsrichting “BAU + ophogen” combineert beide effecten.

De BAU-oplossingsrichting heeft als maatregel dat de dijken verhoogd worden onder de verschillende klimaatscenario's. Hierdoor blijven weliswaar de kansen op overschrijding gelijk aan de huidige wettelijke normen, ongeacht het klimaatscenario. De waterdieptes nemen echter ook toe als gevolg van het ophogen van de dijken, en bij een overstroming is de maximale waterdiepte dus groter. Voor de presentatie van de effecten is uitgegaan van de nieuwe waterdieptekaart (MinBZK, 2008).

**FIGUUR 7.1**

Ontwikkeling in potentiële schade onder het GE scenario (sterke economische groei) voor verschillende zeespiegelstijgingsscenario's.



Figuur 7.1 geeft aan wat het effect van de oplossingsrichtingen BAU, Nederland Omhoog en de beide combinatieoplossingsrichtingen is op de potentiële schade in vergelijking met de “Nul referentie”. Als basis wordt de huidige situatie genomen waarbij is uitgegaan van de “best estimate” in het jaar 2000 van Klijn et al. (2007) van 190 miljard euro. Uitgaande van het best estimate is de potentiële schade voor het jaar 2015 is 242 miljard euro. De ontwikkeling in potentiële schade is bekeken onder aanname van het GE scenario. In deze figuur wordt alleen de potentiële schade weergegeven. De kans op overstroming verschilt echter per oplossingsrichting, en heeft gevolgen voor de jaarlijks te verwachten schade, oftewel het risico. Dit schaderisico wordt behandeld in paragraaf 7.3.

Uit de Figuur 7.1 blijkt dat de schade toeneemt van 190 miljard euro in het jaar 2000 tot ongeveer 380-780 miljard euro voor de verschillende oplossingsrichtingen. Verder blijkt -niet geheel verrassend- dat de oplossingsrichting Nederland Omhoog de laagste potentiële schade heeft in vergelijking met de oplossingsrichting Nul referentie en de BAU-oplossingsrichting. De combinatie oplossingsrichting geeft een iets hogere potentiële schade omdat de waterdieptes bij de BAU oplossingsrichting ook gaan



toenemen en daarmee ook potentiële schade. Immers, het water achter verhoogde dijken kan na het bezwijken ervan tot hogere niveaus komen, omdat ook het laagste punt van de dijkkring als gevolg van BAU wordt verhoogd bij toenemende zeespiegel.

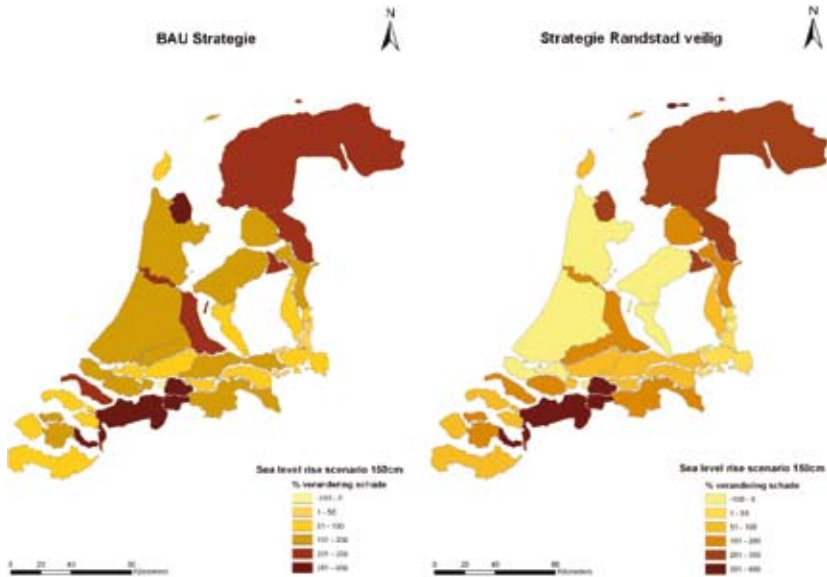
Uit deze berekeningen blijkt verder dat de schadereductie van de oplossingsrichting NL omhoog ten opzichte van de BAU variant en Nul referentie ongeveer 30% is in 2040 en zelfs 50% in 2100. De potentiële schade als gevolg van de oplossingsrichting Randstad Veilig is hoger dan onder de oplossingsrichting NL Omhoog omdat alleen de Randstad beschermd wordt door de combinatie terpen en superdijken maar voor de rest van Nederland wordt niet opgehoogd. De potentiële schade buiten de Randstad gaat in deze oplossingsrichting dus toenemen onder aanname van verschillende scenario's.

Voor de volledigheid worden in Tabel 7.1 de potentiële schade berekeningen voor alle scenario's gecombineerd weergegeven.

**TABEL 7.1**  
Potentiële schade voor alle scenario's en oplossingsrichting combinaties, in miljard euro.

Schade (miljard euro)										
		2000	2015	2040	2040	2040	2100	2100	2100	2100
				0c m	24 cm	60 cm	0 cm	60 cm	85 cm	150 cm
socio-econ										
	Best Estimate	190	242							
RC	Niets doen			271	405	556	777	1447	1728	2145
RC	BAU				413	567		1473	1763	2286
RC	NL Omhoog									
RC	BAU + Omhoog									
RC	Randstad veilig				323	452		1038	1260	1554
		2000	2015	2040	2040	2040	2100	2100	2100	2100
				0 cm	24 cm	60 cm	0 cm	60 cm	85 cm	150 cm
GE	Niets doen	190	242	375	562	759	1568	2628	3098	3778
GE	BAU				572	772		2677	3168	4080
GE	NL Omhoog				385	520		1435	1650	2036
GE	BAU + Omhoog				395	533		1484	1690	2101
GE	Randstad veilig				485	664		1976	2371	2882

**FIGUUR 7.2**  
Percentuele verandering potentiële schade in het jaar 2100 (ten opzichte van 2015) onder de oplossingsrichtingen BAU en Randstad Veilig bij een zeespiegelstijgingsscenario van +1,50 m. Bij deze berekening is uitgegaan van het GE scenario.





Figuur 7.2 laat de percentuele verandering in potentiële schade per dijkkring zien voor de alternatieven BAU en Randstad Veilig bij een extreem zeespiegelstijgingsscenario van +1,50 m. Dit is ten opzichte van de Nul referentie. Voor de oplossingsrichting Randstad Veilig is goed te zien voor welke dijkringen de potentiële schade sterk gereduceerd wordt terwijl deze stijgt bij de oplossingsrichting BAU. Voor delen van het rivierengebied is het verschil geringer, maar in delen er van is toch sprake van een verminderde stijging. Dat komt dat er wel wordt opgehoogd maar er worden geen superdijken aangelegd (Zie voor details Aerts et al., 2008)

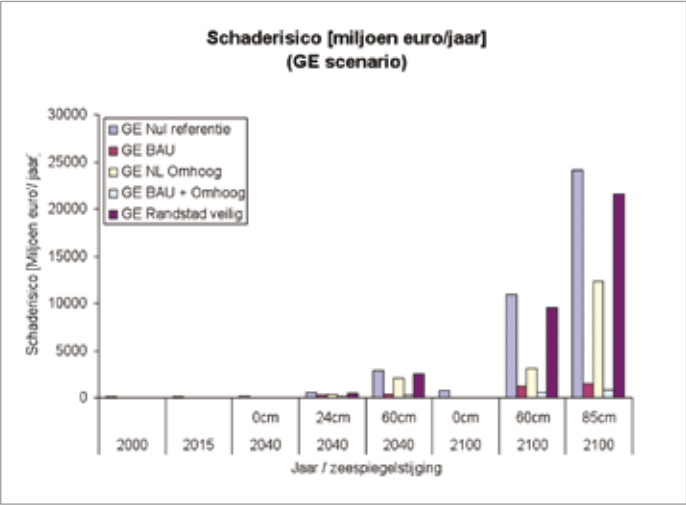
### 7.3 Ontwikkeling in het Schaderisico

Op grond van de ontwikkelingen in kansen en de ontwikkelingen in schadepotentieel kan er een schatting worden gemaakt van de ontwikkeling in het schaderisico gedefinieerd als kans \* schade. Het schaderisico voor het jaar 2000 wordt ingeschat op grond van de schatting van de huidige potentiële schade van 190 miljard euro in Klijn et al. (2007). Door de afzonderlijke potentiële schades per dijkkring te vermenigvuldigen met de huidige overschrijdingskansen per dijkkring wordt het gemiddelde schaderisico ingeschat op 88 miljoen euro/jaar. Voor het jaar 2015 is dat 112 miljoen euro/jaar.

In Figuur 7.3. is de ontwikkeling te zien van het schaderisico als gevolg van de oplossingsrichtingen Business As Usual (BAU) en Nederland Omhoog in vergelijking met de oplossingsrichting Nul referentie. Op deze manier kunnen we het effect van schadereductie bekijken door middel van ophogen ten opzichte van het handhaven van de huidige overschrijdingskansen als gevolg van de BAU variant. Het schaderisico in Figuur 7.3 is het gesommeerde risico over alle dijkringen en is berekend voor verschillende scenario's voor zeespiegelstijging.

126

**FIGUUR 7.3** →  
Ontwikkeling van het schaderisico bij het GE scenario als gevolg van de oplossingsrichtingen in vergelijking met de Nul referentie.



In Tabel 7.2 staan de schaderisico's voor verschillende oplossingsrichtingen en scenario's. Op grond van deze berekeningen kunnen we bekijken hoeveel het schaderisico gaat toenemen ten opzichte van bijvoorbeeld het jaar 2000. Als er geen maatregelen worden genomen ("Nul Referentie") dan neemt het schaderisico in 2040 toe met een factor 6 tot 34 ten opzichte van het jaar 2000. In 2100 is de toename factor zelfs 110-6500. Deze stijging is met name te wijten aan zeespiegelstijging. Als we alleen kijken naar de invloed van sociaal economische ontwikkelingen in 2040 en 2100 en aannemen dat er geen zeespiegelstijging zou zijn, dan neemt het schaderisico toe met factor 3 in 2040 tot een factor 9 in 2100.

**TABEL 7.2** →  
Ontwikkeling in het Schaderisico  
voor alle scenario's -  
oplossingsrichting combinaties in  
miljoen euro/jaar.

Schaderisico (miljoen euro/ jaar)									
		2000	2015	2040	2040	2040	2100	2100	2100
				0 cm	24 cm	60 cm	0 cm	60 cm	85 cm 150 cm
<b>socio-econ</b>									
	Best Estimate	88	112						
Geen groei	Niets doen				184	726		726	1199 19894
RC	Niets doen			165	397	2104	390	5397	12326 317491
RC	BAU							661	787 998
RC	NL Omhoog								
RC	BAU + Omhoog								
RC	Randstad veilig				322	1723		4601	10851 293167
		2000	2015	2040	2040	2040	2100	2100	2100
<b>socio-econ</b>				0 cm	24 cm	60 cm	0 cm	60 cm	85 cm 150 cm
GE	Niets doen	88	112	229	557	2926	787	10916	24133 578248
GE	BAU				271	351		1236	1454 1829
GE	NL Omhoog				391	2067		3040	12300 220340
GE	BAU + Omhoog				193	252		533	799 1010
GE	Randstad veilig				471	2516		9543	21570 538114

Uit figuur 7.3 blijkt verder dat voor het 2040 (GE scenario) de oplossingsrichting BAU in het laagste gemiddelde schaderisico resulteert van 270 – 351 miljoen euro/jaar voor respectievelijk 24 cm en 60 cm in 2040. De oplossingsrichting Nederland omhoog resulteert als gevolg van deze scenario's in een schaderisico van 390-2060 miljoen euro/jaar.

Bij een zeespiegelstijging van 85 cm en 150 cm in 2100 gaat de kans op overschrijding zeer sterk toenemen wanneer er geen dijkversterking zou plaatsvinden. Het is daarom ook goed te zien dat als gevolg van deze meer extreme scenario's van zeespiegelstijging dijkversterking en het daarmee handhaven van de huidige overschrijdingskansen de toename in het schaderisico beperkt tot 1200-1800 miljoen euro/jaar in 2100 (een factor 13-20 hoger dan het schaderisico in het jaar 2000). Als we naar het effect van de oplossingsrichting Nederland Omhoog kijken ten opzichte van het jaar 2000 dan gaat het schaderisico in 2100 een factor 35-2200 omhoog waaruit blijkt dat bij een zeespiegelstijging van meer dan 60 cm per eeuw de BAU veel meer effect op het reduceren van het schaderisico sorteert in vergelijking met de ophoogvariant.

Als we tenslotte kijken naar het gecombineerde effect van de BAU oplossingsrichting en de ophoogvariant wordt de toename in het schaderisico ten opzichte van de Nul referentie (niets doen) gereduceerd met een factor 2-3 in 2040 en met een factor 5-11 in het jaar 2100. Dat betekent dat de combinatie BAU+Ophogen het schaderisico bijna 2 x meer verlaagt ten opzichte van alleen de BAU oplossingsrichting in 2100.

## 7.4 Ruimtelijke evaluatie van oplossingsrichtingen

Deze paragraaf beschrijft op basis van Jacobs en Koomen (2008) globaal de ruimtelijke implicaties van vier oplossingsrichtingen voor indicatoren die in de ruimtelijke ordening van belang zijn. Hierbij zijn ter vergelijking twee oplossingsrichtingen gevoegd die ook eerder in de studie NL Later zijn beschreven (MNP, 2007). De vier ruimtelijke oplossingsrichtingen zijn:

- Nul referentie;
- Nederland Omhoog ('Terpen');
- Eilanden voor de kust;
- Brede kust.

De uitwerking van de vier ruimtelijke oplossingsrichtingen wordt gesimuleerd onder aanname van twee sociaal economische scenario's voor het jaar 2100: "Global Economy" (GE) en "Regional Communities" (RC) (zie Hoofdstuk 2; Borsboom-van Beurden et al., 2007). Voor het Global Economy scenario is er vanuit gegaan dat zowel het bevolkingsaantal als de economie sterk groeit. De bevolking in Nederland groeit in dit scenario bijvoorbeeld van 16 miljoen inwoners in 2000 tot 22 miljoen inwoners in 2100. Het gevolg is dat in dit scenario veel ruimte in Nederland nodig is voor wonen en werken (Jacobs, et al., 2008). (zie Tabel 7.3)

**TABEL 7.3**

Ontwikkeling van ruimteclaims  
als gevolg van het Global  
Economy scenario

	2015		2100		
	Hectares	Ha/1000 inw	Hectares	Ha/1000 inw	Groefactor
Wonen	344.616	20,1	644.244	28,8	1,87
Werken	98.488	5,8	139.184	6,2	1,41
Recreatie	34.808	2	68.624	3,1	1,97
Landbouw	2.262.908	132,3	1.789.694	79,9	0,79
Natuur	585.306	34,2	661.429	29,5	1,13
<b>Totaal</b>	<b>3.326.126</b>	<b>194</b>	<b>3.303.175</b>	<b>147</b>	<b>0,99</b>

In het Regional Communities scenario stijgen economie en bevolkingsaantal veel minder snel. De bevolking in Nederland in het Global Economy scenario zal bij het RC scenario zelfs wat afnemen, van 16 miljoen mensen in 2000 tot 15 miljoen mensen in 2100. Door deze beperktere groei is in dit scenario veel meer ruimte voor niet-stedelijke functies, zoals landbouw en natuur (Tabel 7.4).

**TABEL 7.4**

Ontwikkeling van ruimteclaims  
als gevolg van het Regional  
Communities scenario

	2015		2100		
	Hectares	Ha/1000 inw	Hectares	Ha/1000 inw	Groefactor
Wonen	344.616	20,7	337.992	22,5	0,98
Werken	98.488	5,9	90.462	6,0	0,92
Recreatie	34.808	2,1	63.533	4,2	1,83
Landbouw	2.262.908	136	2.023.260	134,9	0,89
Natuur	585.306	35,2	787.722	52,5	1,35
<b>Totaal</b>	<b>3.326.126</b>	<b>200</b>	<b>3.302.969</b>	<b>220</b>	<b>0,99</b>

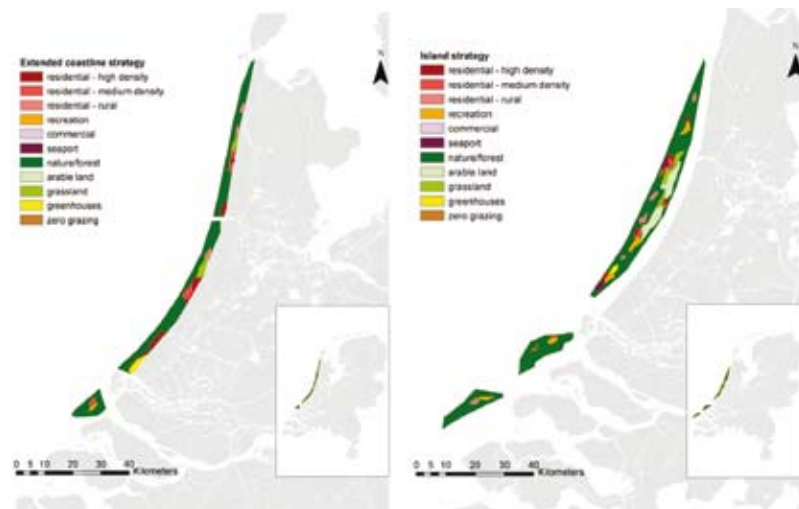
## Ruimtelijke uitwerking van de oplossingsrichtingen.

De ophoogoplossingsrichting is al uitvoerig besproken in Hoofdstuk 6 en de uitwerking van “Nul referentie” onder zowel het GE als RC scenario staat beschreven in Hoofdstuk 2. In de eilandenoplossingsrichting worden een of meer eilanden ontwikkeld voor de kust. Deze eilanden beschermen de kust doordat zij de golfaanval verminderen (zie ook Hoofdstuk 5). Nieuwe eilanden bieden echter geen bescherming tegen zeespiegelstijging. Wel wordt er nieuwe ruimte voor natuur en stedelijke zones gecreëerd doordat de eilanden vooral natuurgebied, maar ook woon- en werkfuncties herbergen. De extra stedelijke gebieden op de eilanden vermindert vooral de verstedelijkingsdruk in het westen van het land, en verlaagt het schadepotentieel in de bestaande dijkringgebieden aan de kust. Verder is er in de studie van Jacobs en Koomen (2008) vanuit gegaan dat (door bruggen) de eilanden goed bereikbaar zijn vanaf het vaste land (Figuur 7.4).

In de brede kust oplossingsrichting wordt de Nederlandse kustlijn verbreed. De bredere kustlijn beschermt de kust en biedt ruimte voor natuur en stedelijke zones. Het nieuwe land heeft als landgebruik vooral natuurgebied, maar ook woon- en werkfuncties. Net als bij de eilanden oplossingsrichting zijn de simulaties hier zo opgezet, dat de ingetekende stedelijke gebieden aan de kust vooral de verstedelijkingsdruk in het westen van het land opvangen (Figuur 7.4).

**FIGUUR 7.4**

Uitwerking van de brede kust oplossingsrichting (links) en de eilanden oplossingsrichting (rechts).



## Evaluatie

De modelsimulaties met de Ruimtescanner hebben geleid tot 8 beelden van het ruimtegebruik in 2100: per scenario de ruimtelijke uitwerking van de vier oplossingsrichtingen (Figuur 7.5 en 7.6). De effecten van het veranderend landgebruik worden deels kwantitatief en deels kwalitatief beoordeeld op grond van de volgende ruimtelijke indicatoren:

- aantasting EHS;
- landschapskwaliteit;
- kwaliteit fysieke leefomgeving;
- internationaal vestigingsklimaat.

Deze indicatoren zijn eerder door het MNP (2007) in de “Nederland Later” studie gebruikt. Let wel: om een integrale evaluatie van alternatieve oplossingsrichtingen te maken is een groter aantal indicatoren nodig. We hebben hier enkel een viertal indicatoren voor ruimtelijke kwaliteit bekeken.

De indicatoren “aantasting EHS” heeft vooral betrekking op de aantasting van de EHS door verstedelijking. In deze studie is de EHS aangemerkt met ruimtelijke gegevens van het natuurplanbureau (zie ook Lammers et al., 2005). De gebieden die in deze data als EHS zijn aangemerkt, kennen een totaal areaal van ongeveer 625.000 hectare. Verder kan de kwaliteit van het landschap verminderen als meer stedelijk gebied (wonen, werken, recreëren, infrastructuur) wordt ontwikkeld in gebieden met een hoge landschappelijke waarde. Dit zijn stukken grond die door Alterra zijn gekenmerkt als gebieden met hoogwaardige landschappelijke kernwaarden (Koomen en Weijsschede, 2002). Ook wordt verondersteld dat het internationale vestigingsklimaat voor bedrijven aantrekkelijker is bij meer economische activiteit, en bij een meer onderscheidende ruimtelijke vormgeving. Des te hoger de economische activiteit in een land des te meer opbrengsten het land heeft voor bedrijven. Daarmee wordt door een hogere economische activiteit het land ook internationaal aantrekkelijker als vestigingsplek. Een onderscheidende ruimtelijke vormgeving zorgt voor een vergroting van de eigen identiteit en aantrekkelijkere vestigingsplekken. Daarmee kan het land door een meer onderscheidende vormgeving ook aantrekkelijker worden als vestigingsplek voor bedrijven en medewerkers. Als laatste hangt in deze studie de kwaliteit van de fysieke leefomgeving globaal geëvalueerd. Daarbij wordt aangenomen dat de kwaliteit van de fysieke leefomgeving samenhangt met de nabijheid van natuur en recreatie bij woongebieden.

## Ruimtelijke effecten als gevolg van het Global economy scenario

Als gevolg van de combinatie “Nul referentie” met het Global Economy scenario is te zien dat er veel woongebied bij komt. In Brabant groeit de rij steden van Roosendaal tot Den Bosch aan elkaar (Figuur 7.5). Daarnaast groeit Eindhoven sterk. Maar ook ten oosten en zuiden van de Veluwe, rondom Maastricht, rondom Almelo en Hengelo en rondom Groningen groeien agglomeraties sterk. Opvallend is dat volgens het model (de Ruimtescanner) in de Randstad na 2040 relatief weinig ruimte is voor uitbreiding van woon- en werkgebieden en tussen 2040 en 2100 vindt verandering in het ruimtegebruik dan ook voornamelijk plaats buiten Noord-Holland, Zuid-Holland en Utrecht. In het trendscenario wordt 1.734 ha stedelijk gebied ontwikkeld in de ecologische hoofdstructuur. Ongeveer 143.000 ha grond met een hoge landschappelijke kwaliteit wordt volgebouwd. De grote economische groei, en de hoeveelheid ruimte voor wonen en werken geven Nederland een goed internationaal vestigingsklimaat. Door de grote mate van verstedelijking verslechtert echter de kwaliteit van de fysieke leefomgeving.

In de oplossingsrichting Randstad Veilig waarin grote delen van de Randstad worden opgehoogd vindt veel van de verstedelijking plaats op de terpen. Zo is er sterke verstedelijking te zien op de terpen tussen Rotterdam en Utrecht en tussen Alkmaar en Enkhuizen. De groei van verstedelijking op deze terplichamen neemt de stedelijke ontwikkelingen in de lage delen van de Randstad over. In totaal wordt ongeveer 110.000 ha

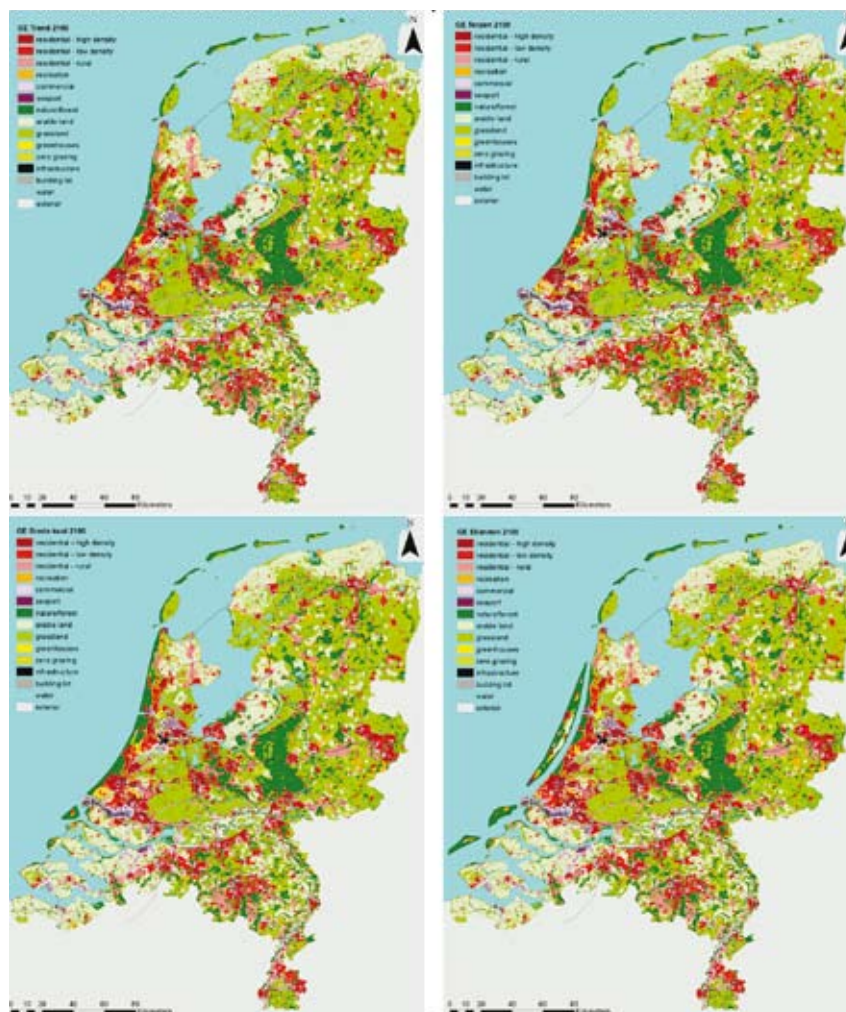
aan woon en werkgebied gebouwd op terpen. Ten opzichte van de oplossingsrichting “Nul referentie” wordt in de oplossingsrichting Randstad Veilig ongeveer 200 ha meer van de EHS afgehaald. Ook vindt veel minder (3.000 ha) stedelijke ontwikkeling plaats. In hoeverre de oplossingsrichting Randstad Veilig zou bijdragen aan een aantrekkelijker internationaal vestigingsklimaat is moeilijk te zeggen, maar het concept van terpen en dijken zou wel tot een grotere internationale uitstraling kunnen leiden. Door de ontwikkeling op terpen wordt de verstedelijking iets verspreid over langwerpige linten van terpen. Hierdoor zijn voor meer mensen recreatiemogelijkheden en natuurgebieden dichterbij, wat positief is voor de fysieke leefomgeving.

Bij de eilandenoplossingsrichting zal een deel van de verstedelijking in de Randstad plaatsvinden op de nieuwe eilanden. Dit heeft tot gevolg dat de verstedelijking in de Randstad (op het “oude land”) ietwat beperkt wordt. Het gevolg is dat in het Groene Hart iets minder wordt gebouwd, en bij de kust juist iets meer door de aanzuigende werking van de nieuwe eilanden. Daardoor zal (ten opzichte van “Nul referentie”) bijvoorbeeld in het Westland meer stedelijk gebied worden ontwikkeld en, wat verder landinwaarts, bij Alphen aan de Rijn minder. In totaal wordt ongeveer 6.200 ha aan woon- en werkgebied gebouwd op de eilanden. Ten opzichte van de Nul referentie oplossingsrichting wordt een te verwaarlozen 15 hectare meer van de EHS afgenomen. Dit gebeurt overigens vooral in de kustgebieden. In vergelijking met Nul referentie wordt minder (1.000 ha) gebouwd in gebieden met een hoge landschappelijke kwaliteit. De ontwikkeling van eilanden zou enerzijds als een typisch Nederlandse praktijk kunnen leiden tot een grotere internationale uitstraling. Anderzijds hebben de eilanden mogelijk een aanzuigende werking op transport van en naar de eilanden. In deze oplossingsrichting is de verstedelijking verder verspreid dan bij de oplossingsrichting Nul referentie. Recreatiemogelijkheden en natuurgebieden liggen daardoor dichterbij woongebieden, wat de kwaliteit van de fysieke leefomgeving ten goede komt.

Ook bij de brede kust oplossingsrichting (een verbreding van 5-15 km) zal een deel van de verstedelijking in de Randstad plaatsvinden op delen van de nieuw aangelegd kuststrook. Dit heeft eveneens tot gevolg dat de verstedelijking in de “oude” Randstad beperkt wordt. Deze ontwikkelingen zal voor de kust een aanzuigende werking hebben. Daardoor verschuift een deel van de verstedelijking naar de westkant van de Randstad. Bijvoorbeeld rond Alphen aan de Rijn verdwijnt veel van de verwachte verstedelijking. In totaal wordt ongeveer 7.200 ha aan woon en werkgebied gebouwd op de verbreedde kuststrook. Ten opzichte van de Nul referentie wordt ongeveer 50 ha meer van de EHS afgenomen, vooral bij de Noordzeekust. Ook wordt meer (800 ha) gebouwd in gebieden met een hoge landschappelijke kwaliteit. Deze oplossingsrichting onderscheidt zich in ruimtelijke vorm niet veel. De aantrekkelijkheid van Nederland als vestigingsplek wordt daardoor met deze oplossingsrichting niet versterkt. In deze oplossingsrichting blijft meer natuurgebied bestaan en wordt het bebouwde gebied over een groter oppervlak verspreid, wat de fysieke leefomgeving ten goede komt.

**FIGUUR 7.5**

De vier oplossingsrichtingen en hun ruimtelijke implicaties als gevolg van het Global Economy scenario voor 2100. Van linksboven met de klok mee: Nul referentie, Randstad Veilig, Eilandenoplossingsrichting, Bredekust oplossingsrichting.



Ruimtelijke effecten als gevolg van het Regional communities scenario  
 Voor de combinatie “Regional Communities” en de “Nul referentie” geldt dat de bevolking niet of nauwelijks groeit en er dus weinig bijgebouwd hoeft te worden. Hier en der verdwijnen zelfs stukjes bebouwd gebied. Daarnaast is opvallend dat het natuurlijk areaal (donker groen, Figuur 7.6) aanzienlijk toeneemt, met name in het Groene Hart en Noord-Holland. Daarnaast neemt het areaal akkerbouw in Drenthe aanzienlijk af waarvoor grondgebonden teelt in de plaats komt. In Friesland en Groningen neemt het areaal akkerbouw juist toe. Er wordt ongeveer 1.300 ha stedelijk gebied ontwikkeld in de EHS en ongeveer 76.000 ha stedelijk gebied grond in gebieden met een hoge landschappelijke kwaliteit. De beperkte economische groei en de aan het Regional Communities scenario verwante naar binnen gerichte blik kunnen de status van Nederland als interessante internationale vestigingsplaats verslechteren. Uit de groei van areaal natuurgebied en recreatie blijkt al dat de fysieke leefomgeving in het Regional Communities scenario verbeterd.



In de oplossingsrichting Randstad Veilig wordt –ondanks de lage toename in bevolkingsomvang– vooral tussen Alkmaar en Enkhuizen veel gebouwd op de terpen. Aangenomen is dan ook dat als er een toename is in bebouwing, deze bij voorkeur zal plaatsvinden op terpen. In het Groene Hart neemt de hoeveelheid natuur ook toe. In totaal wordt ongeveer 65.000 ha aan woon- en werkgebied gebouwd op terpen. Ten opzichte van de Nul referentie wordt in dit scenario ongeveer 100 ha meer gebied in de EHS bebouwd en wordt veel meer (bijna 4.400 ha) gebouwd in landschappelijk aantrekkelijk gebied. Het zou overigens zo kunnen zijn dat de opgehoogde gebieden landschappelijk juist een meerwaarde hebben. In hoeverre de terpenoplossingsrichting zou bijdragen aan een aantrekkelijker internationaal vestigingsklimaat is moeilijk te zeggen, maar het typisch Nederlandse concept van terpen en dijken zou wel tot een grotere internationale uitstraling kunnen leiden. Door de ontwikkeling op terpen wordt de verstedelijking iets meer verspreid. Hierdoor zijn voor meer mensen recreatiemogelijkheden en natuurgebieden dichtbij, wat positief is voor de fysieke leefomgeving.

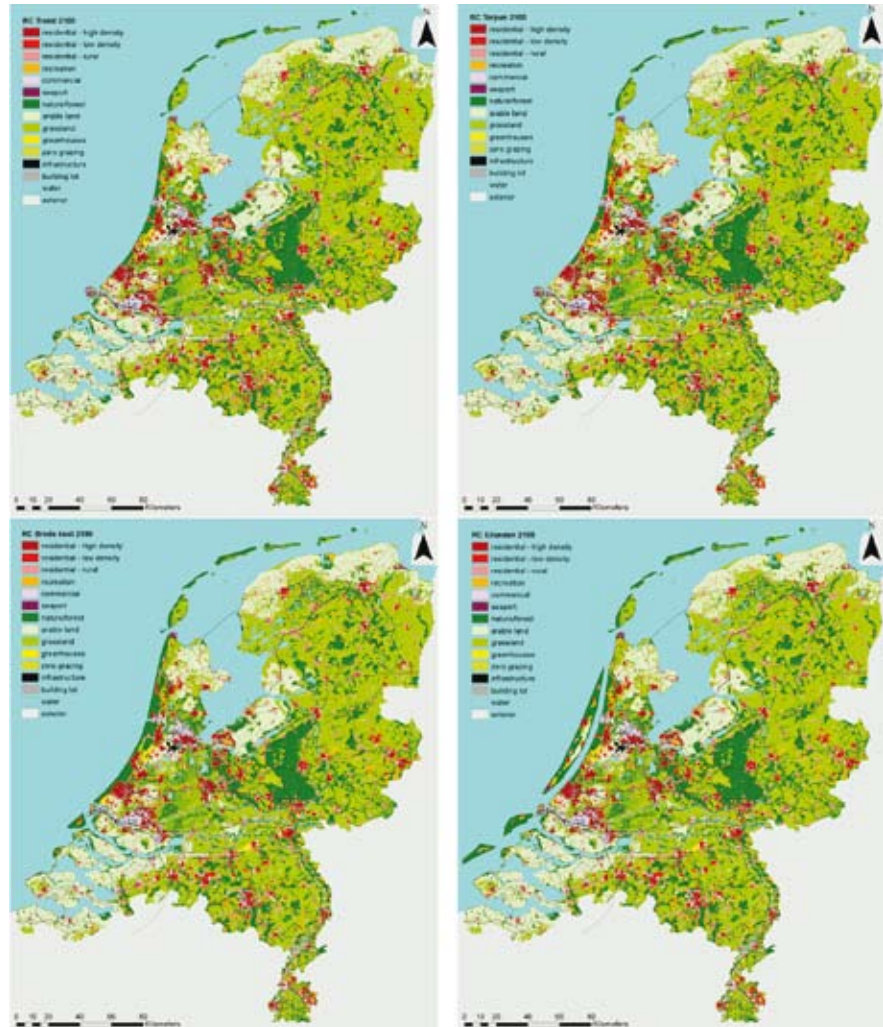
Door de aanleg van steden op nieuwe eilanden neemt in deze oplossingsrichting de verstedelijkingsdruk in het westen meer af dan in de Nul referentie variant. Het gevolg is dat in het westen van het land meer ruimte ontstaat voor natuurgebied en landbouw. In totaal wordt ongeveer 6.200 ha aan woon en werkgebied gebouwd op de eilanden en wordt ongeveer even veel oppervlak in de EHS bebouwd. Wel wordt veel minder (1.700 ha) gebouwd in landschappelijk aantrekkelijke gebieden in vergelijking met de oplossingsrichting Nul referentie. De ontwikkeling van nieuwe eilanden zou als een typisch Nederlandse praktijk voorbeeld kunnen leiden tot een grotere internationale uitstraling. In deze oplossingsrichting is de verstedelijking verder verspreid in vergelijking met de Nul referentie oplossingsrichting. Recreatiemogelijkheden en natuurgebieden liggen daardoor dichtbij woongebieden, wat de kwaliteit van de fysieke leefomgeving ten goede komt.

Door de aanleg van steden op de Uitgebreide kuststrook neemt in deze oplossingsrichting de verstedelijkingsdruk in het westen meer af dan in vergelijking met het Nul referentie scenario (ongeveer evenveel als bij de eilandenoplossingsrichting). Opvallend is de aanzuigende werking van stedelijk gebied ten noordwesten van Leiden. Door de lagere verstedelijkingsdruk in het centrum van de Randstad ontstaat veel ruimte voor natuur en landbouw in het Groene Hart. In totaal wordt ongeveer 7.200 ha aan woon en werkgebied gebouwd op de verbreedde kuststrook. Ten opzichte van de Nul referentie wordt bij deze oplossingsrichting bijna 50 ha van de EHS extra bebouwd, voornamelijk in het kustgebied. Er wordt hier ook meer (700 ha) gebouwd in landschappelijk aantrekkelijk gebied. Aangenomen wordt dat deze oplossingsrichting de aantrekkelijkheid van Nederland als vestigingsplek niet versterkt. In deze oplossingsrichting blijft meer natuurgebied bestaan en wordt het bebouwde gebied over een groter oppervlak verspreid, wat de fysieke leefomgeving ten goede komt.



**FIGUUR 7.6**

De vier oplossingsrichtingen en hun ruimtelijke implicaties als gevolg van het Regional Economy scenario voor 2100. Van linksboven met de klok mee: Nul referentie, Randstad Veilig, Eilandenoplossingsrichting, Brede kust oplossingsrichting.



In dit hoofdstuk wordt een globale schatting gegeven van de kosten van de oplossingsrichtingen zoals beschreven in Hoofdstuk 6. Verder wordt in paragraaf 8.3 een zeer ruwe schatting gegeven van de kosten voor het beheersen van de wateroverlast. In de laatste paragraaf 8.4 worden tenslotte alle kostenschattingen naast elkaar gezet en vergeleken met bestaande studies. Alle kosten zijn exclusief BTW.

## 8.1 Kostenschatting van de oplossingsrichting Business as Usual (BAU)

### Klimaatscenario's en waterstanden

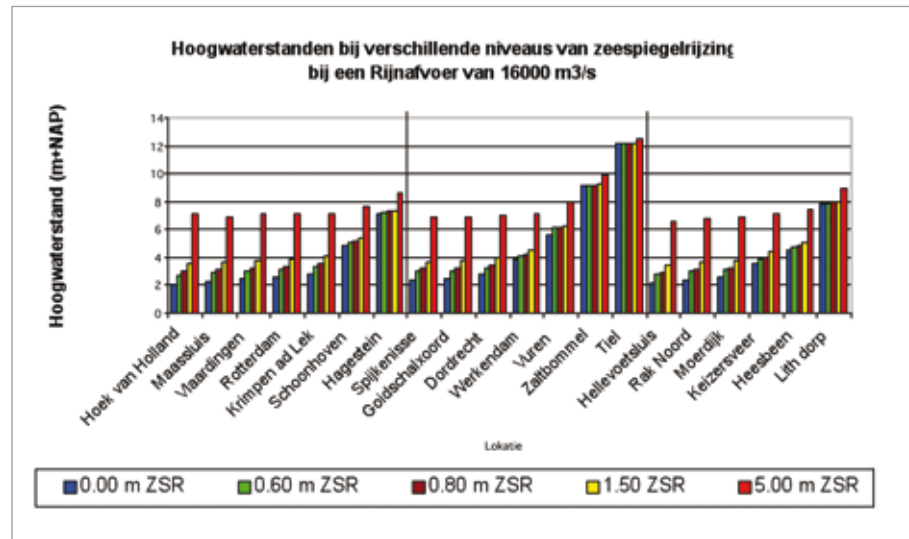
Om een schatting te kunnen maken van de kosten in de BAU variant onder aanname van verschillende klimaatscenario's is eerst een berekening gemaakt van de maatgevende waterstanden die kunnen voorkomen onder de betreffende klimaatscenario's (Sprong, 2008). Hiervoor zijn de hydrologische parameters, die gelden voor de zichtjaren 2040, 2100 en verre toekomst, genomen als uitgangspunt in de modelberekeningen voor de bepaling van maatgevende waterstanden. Voor de berekening van de waterstanden in het bovenrivierengebied is de keuze voor de grensoverschrijdende afvoer van Rijn en Maas doorslaggevend. Afsproken is om voor 2100 uitgegaan te gaan van een maatgevende afvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s voor de Rijn bij Lobith en van 4.600 m<sup>3</sup>/s voor de Maas bij Eysden. Door deze keuze is gebruik gemaakt van de informatie die is verzameld ten behoeve van de voorbereiding van de PKB. Ook voor de verre toekomst zijn deze getallen het uitgangspunt. De afvoer boven de 16.000 m<sup>3</sup>/s wordt conform de PKB verdeeld over IJssel en Waal. Hiermee wordt aangesloten bij de keuzes van de PKB Ruimte voor de Rivier.

Voor de kust zijn zeespiegelstijging, windsnelheden en stormduur de dominante factoren. In dit onderzoek is alleen de zeespiegelstijging gevarieerd en zijn de volgende scenario's gehanteerd: voor 2040 wordt uitgegaan van 24 cm en voor 2100: 60, 85 en 150 cm zeespiegelstijging. Tenslotte wordt voor de verre toekomst nog een zeespiegelstijging van 5 m onderzocht. Deze scenario's werken door op het peil in het IJsselmeergebied, maar ook op de rivieren.

Om een indruk te krijgen van het effect op waterstanden van de zeespiegelstijging zijn voor de verschillende scenario's enkele verkennende sommen uitgevoerd bij een Rijnafvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s en een enigszins door storm verhoogd getij (zie Sprong, 2008). De onderstaande Figuur 8.1 geeft een beeld van de mate waarin de zeespiegelstijging bovenstrooms doorwerkt. De verschillende locaties langs de rivieren zijn gerangschikt van oost (rechts) naar west (links). Te zien is dat het effect van de zeespiegelstijging landinwaarts afneemt. De absolute waterstand ten opzichte van NAP blijft bovenstrooms uiteraard hoger dan benedenstrooms maar het verschil wordt kleiner, zeker voor het scenario met een stijging van 5 m.

**FIGUUR 8.1**

Het effect van zeespiegelstijging op waterstanden bij verschillende locaties bij een Rijnafvoer van 16.000 m<sup>3</sup>/s.



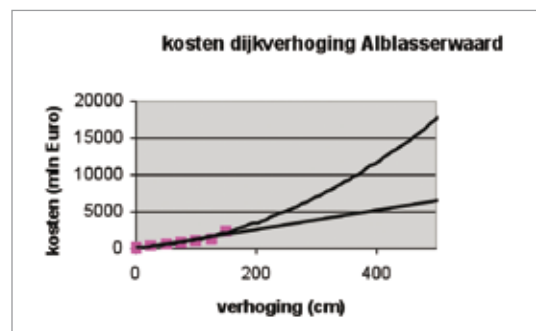
## Basis kostenfuncties

Voor het berekenen van de kosten zijn kostenfuncties beschikbaar voor een groot aantal dijktringen langs de rivieren. Die kostenfuncties zijn opgesteld ten behoeve van de kosten-baten analyse van het CPB voor de PKB Ruimte voor de Rivier (ARCADIS, 2004; 2006). De kosten omvatten de directe kosten, de indirecte bekende kosten, de onvoorziene kosten en voorbereiding, algemeen en toezicht. De kosten zijn exclusief BTW, milieuonderzoek en saneringen, grondaankopen en eventuele LNC compensaties en schadevergoedingen.<sup>1</sup> m

De gebruikte kostenfuncties gaan echter niet verder dan een dijkverhoging van 1,50 m. Bij een zeespiegelstijging groter dan 1,50 m zijn echter in het benedenrivierengebied en in de benedenloop van de IJssel ook dijkverhogingen nodig die groter zijn dan 1,50 m. Om ook naar een extreem zeespiegelstijgingsscenario van +5 m te kijken is het noodzakelijk de curves te extrapoleren. De onzekerheid van deze extrapolatie is groot. Een voorbeeld daarvan staat afgebeeld in Figuur 8.2. De basis van de kostenraming in het IJsselmeergebied wordt gevormd door de cijfers uit het WINBOS van de studie naar het Natte Hart (VenW, 2000b).

**FIGUUR 8.2**

Effect van de extrapolatie methode op het bepalen van de kosten van Dijkkring 16, Alblasterwaard waarbij bij gebruik van verschillende extrapolatiemethoden ook de resulterende kostencurves uiteen lopen.



Bij de kosten voor de kust is een onderscheid gemaakt tussen de zandige kust (inclusief de duinen) en de door dijken beschermde kust. Bij de zandige kust is uitgegaan van een berekening van de hoeveelheid zand die jaarlijks nodig is om het kustfundament te handhaven t.o.v de zeespiegel (dit is inclusief de huidige kosten voor het handhaven van de kustlijn op de huidige plaats). Deze hoeveelheid hangt af van de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt. De jaarlijkse hoeveelheid suppletiezand vermenigvuldigd met een eenheidsprijs voor een volume zand geeft de jaarlijkse kosten. Voor de dijken is een rapport van Arcadis beschikbaar waarin kostencurves voor de dijkkring 29 (Walcheren) worden gegeven. De kostencurves voor de Noordzeedijken uit dit rapport zijn ook gebruikt voor de andere dijkkringen langs de kust. Ook hier geldt, dat zodra specifieke cijfers voor die dijkkringgebieden beschikbaar komen, de informatie in het DOS van AVV moet worden aangepast.

## Kosten Rivieren

De kosten van de BAU oplossingsrichting voor het rivierengebied bestaan uit Rivierverruiming conform de lange termijn visie van de PKB RvR. Als rivierverruiming niet voldoende blijkt te zijn (als gevolg van de zeespiegelstijging), dan wordt ook nog dijkverhoging doorgevoerd.

Uitgaande van de in de PKB vastgelegde uitgangspunten is voor AVV een aanvullend (dat wil zeggen bovenop het basispakket) pakket voor 2040 en voor 2100 samengesteld. Hierbij is gebruik gemaakt van de zogenaamde Blokkendoos Ruimte voor de Rivier. Het gekozen maatregelenpakket voor 2040 blijkt de waterstand op de IJssel voldoende te verlagen. Dit houdt in dat er om aan de (huidige) normen te voldoen geen additionele dijkversterking nodig is. Ook in het benedenrivierengebied lost het gekozen maatregelenpakket het probleem vrijwel geheel op. Uitzondering vormen de Lek en de Noord doordat de zeespiegelstijging op die locatie niet geheel wordt gecorrigeerd door de Ruimte voor de Rivier maatregelen. Berging op het Zoommeer doet vrijwel niets op de noordrand en ook de maatregel van een ander beheer stormvloedkering doet daar niet veel meer. Daarom moeten voor de Lek en de Noord extra dijkverhogingen worden doorgevoerd waarvoor de kosten worden geschat op 150 miljoen euro.

De investeringskosten van dit aanvullende rivierverruimingspakket voor 2040 (24 cm zeespiegelrijzing) worden geschat op circa 2,7 miljard euro. Dit is exclusief reserveringen voor risico's etc. Voeg de aanvullende dijkversterking in het Benedenrivierengebied toe en de kosten voor de Rijn en zijtakken komen op circa 2,9 miljard euro.

De toename van de waterstand bij het scenario voor 2100 (60 cm zeespiegelstijging en 18.000 m<sup>3</sup>/s Rijn) is dusdanig dat vrijwel alle denkbare maatregelen langs de Waal en Merwede nodig zijn. Op de IJssel is er nog enige keuze mogelijk maar ook daar is het pakket omvangrijk. De investeringskosten worden geschat op circa 5,5 miljard euro. In een groot deel van het benedenrivierengebied en in een klein deel van de benedenloop van de IJssel stijgen desalniettemin de maatgevende hoogwaterstanden. De additionele kosten voor de dijkversterking voor het centrale rivierengebied en het noordelijk deltabekken worden geschat op circa 1,1 miljard euro. Voor de IJssel zijn ze zeer beperkt. Daarmee komen de totale kosten op circa 6,6 miljard euro.

Voor de Maas gaat de BAU oplossingsrichting uit van de Integrale Verkenning Maas (IVM2, VenW, 2006d). Deze verkenning bestrijkt het gebied van Borgharen tot Hedikhuizen. De kosten van deze rivierverruiming, nodig om de stijging van de maatgevende afvoer van de Maas (naar 4.600 m<sup>3</sup>/s) op te vangen, zijn in IVM2 geschat op 3,6 miljard euro (plus/min 50%). Benedenstrooms van Hedikhuizen kan uitgaande van de PKB met behulp van de Blokkendoos Ruimte voor de Rivier een schatting worden gemaakt van de kosten na 2015. Hieruit blijkt dat voor 2040 het effect van de zeespiegelstijging wordt opgevangen door de maatregel "Berging op het Volkerak-Zoommeer cq doorvoer naar de Oosterschelde". Door de hogere Maasafvoer is een (t.o.v. het basispakket) extra maatregel nodig, bijvoorbeeld 'verdiepen zomerbed'. De kosten hiervan worden geschat op circa 100 miljoen euro. Voor 2100 zijn bij de gehanteerde uitgangspunten (60 cm zeespiegelstijging en een Maasafvoer (Eijsden) van 4.600 m<sup>3</sup>/s) diverse rivierverruimende maatregelen nodig. De kosten hiervan worden geschat op circa 600 miljoen euro. Hiermee komen de totale kosten voor de rivierverruiming van de Maas voor 2100 op circa 4,2 miljard euro. Er resteert dan nog een waterstandsverhoging (als gevolg van de zeespiegelstijging van 60 cm) op de Bergsche Maas en Amer. Deze wordt opgevangen door dijkverhoging van circa 400 miljoen euro.

De resterende waterstandsverhoging benedenstrooms van bij Hedikhuizen is, bij een zeespiegelstijging van 60 cm, met het gehanteerde pakket circa 15 cm. Dit werkt bovenstrooms door. Er wordt vanuit gegaan dat deze verhoging met bovenstroomse maatregelen niet ongedaan kan worden gemaakt. Dat geldt ook voor een verdere stijging van de zeespiegel. Dit dient dan door dijkverhoging te worden opgelost. Wel is er van uit gegaan dat de toename van de maatgevende afvoer op de Maas door rivierverruiming kan worden opgelost.

TABEL 8.1

Totaal overzicht van de kosten voor het rivierengebied.

BAU	Jaar	2040	2100	2100	2100	Verre toekomst
<b>Scenario's</b>	Zeespiegelstijging (cm)	24 cm	60 cm	85 cm	150 cm	500 cm
	afvoer Rijn (m <sup>3</sup> /s)	16.800	18.000	18.000	18.000	18.000
	afvoer Maas (m <sup>3</sup> /s)	4.200	4.600	4.600	4.600	4.600
<b>Rivierverruiming</b>		<b>miljard euro</b>	<b>miljard euro</b>	<b>miljard euro</b>	<b>miljard euro</b>	<b>miljard euro</b>
Rijntakken		2,7	5,5	5,5	5,5	5,5
Maas		1,3	4,2	4,2	4,2	4,2
<b>Dijkverhoging</b>		<b>miljard euro</b>	<b>miljard euro</b>	<b>miljard euro</b>	<b>miljard euro</b>	<b>miljard euro</b>
Centraal Rivierengebied + Noordelijk deltabekken		0,2	1,1	1,7	4,6	30
Maas		0	0,4	0,4	0,7	3
IJssel		0	0,04	0,06	0,1	0,8

## Kosten IJsselmeergebied

Voor het IJsselmeer is uitgangspunt dat de spuicapaciteit via de Afsluitdijk in 2015 is vergroot. Daarmee kan de zeespiegelstijging tot 2050 (30 cm) worden opgevangen. Bij een verdere stijging, stijgt het IJsselmeerpeil mee met de zee. Daarenboven is aangenomen dat het Markermeerpeil (en het IJmeer) niet mee stijgt, evenmin als het peil van het Zwarte Meer. Dit betekent dat zowel de Houtribdijk (inclusief de sluizen) als de Ramspolkering de stijgende waterstanden op het IJsselmeer moeten kunnen keren. Deze kosten zijn geschat. Dit betekent eveneens dat Markermeer en het Zwarte Meer volledig bemalen zullen moeten worden. Die kosten zijn nog niet geschat in het AVV project. Tabel 8.2 geeft een overzicht van de kosten in het IJsselmeergebied bij verschillende zeespiegelstijgingsscenario's.

**TABEL 8.2**

Kosten voor het IJsselmeergebied.

	Scenario's				
Zeespiegelstijging (cm)	24 cm	60 cm	85 cm	150 cm	500 cm
Stijging IJsselmeerpeil (MHW)	0 cm	23 cm	48 cm	120 cm	470 cm
Maatregelen IJsselmeer	Kosten in miljard euro				
Verhogen dijken	0	0,3	0,4	0,6	2,4

## Kosten voor de Kust

Bij de kosten voor de kust is een onderscheid gemaakt tussen de zandige kust (inclusief de duinen) en de door dijken beschermde kust. In het RIKZ rapport "Zandvoorraden van het kuststelsel" (2006) wordt de huidige jaarlijkse suppletiehoeveelheid van 12 miljoen m<sup>3</sup>/jaar als voldoende beschouwd om de huidige stijging van 18 cm/eeuw te kunnen compenseren en de zandbalans op orde te houden (Tabel 8.3). Om de benodigde hoeveelheid zand te berekenen bij andere scenario's voor zeespiegelstijging mag worden uitgegaan van het volgende (sterk vereenvoudigde) model: de suppletiebehoefte kan worden berekend door de oppervlakte van het kuststelsel te vermenigvuldigen met de mate van zeespiegelstijging. Dit is voor de drie beleidsscenario's uitgewerkt naar hoeveelheden en vervolgens naar kosten. Overigens zijn voor deze studie de gebieden Oosterschelde, Haringvliet en Grevelingen (en ook IJsselmeer, Markermeer en Randmeren) buiten beschouwing gelaten. Morfologisch zijn zij geïsoleerd van het kustfundament en in het huidige beleid groeien deze gebieden ook niet mee met de zeespiegel.

**TABEL 8.3**

Volume zand dat per jaar nodig is nodig langs de kust om zeespiegelstijging bij te houden.

		Suppletiebehoefte (miljoen m <sup>3</sup> /jaar)		
Subsysteem	Oppervlak (km <sup>2</sup> )	20 cm/eeuw	60 cm/eeuw	85 cm/eeuw
Kustfundament	4181	8,4	25,1	35,5
Waddenzee	2497	5,0	15,0	21,2
Westerschelde	253	0,5	1,5	2,2
Kuststelsel	6932	13,9	41,6	58,9

De kosten gemoeid met deze suppletiehoeveelheden laten zich in beginsel eenvoudig berekenen door een eenheidsprijs per m<sup>3</sup> te hanteren. Als richtprijs is hiervoor circa 3 euro/m<sup>3</sup> gehanteerd. Een prijs die overigens van jaar tot jaar sterk kan fluctueren. In dit bedrag zijn niet inbegrepen de kosten van allerlei aanpassingen van badplaatsen, boulevards etc.

**TABEL 8.4**

Kosten van zandsuppletie per jaar langs de kust onder verschillende zeespiegelstijgingsscenario's.

		Suppletiekosten (miljoen euro/jaar bij verschillende beleidsscenario's voor zeespiegelstijging)		
	Oppervlak (km <sup>2</sup> )	20 cm/eeuw	60 cm/eeuw	85 cm/eeuw
Kustsysteem	6932	42	125	177

Hiermee is bekend wat jaarlijks zou moeten worden uitgegeven voor het kustfundament en de daarmee sterk samenhangende systemen Waddenzee en Westerschelde om de zeespiegelstijging te kunnen compenseren. Om dit te kunnen vergelijken met "eenmalige" investeringen aan dijkringen dient dit te worden omgerekend. Hierbij is uitgegaan van een rentepercentage van 2,5%. Tevens is geëxtrapoleerd tot een scenario van 1,5 m zeespiegelstijging per eeuw (zie Tabel 8.5).

Voor de dijken is een rapport van Arcadis (2006) beschikbaar waarin kostencurves voor de dijkkring 29 (Walcheren) worden gegeven. Onderscheid wordt gemaakt tussen dijken langs de Noordzee en langs de Westerschelde. De laatste categorie dijken is iets duurder. De functies uit het Arcadis rapport lopen tot een kruinverhoging van 2,40 m. Voor het zeespiegelstijgingsscenario van 5 m is daarom een extrapolatie nodig. In Tabel 8.5 staan de totale kosten voor de kust in de BAU oplossingsrichting (exclusief verbindende keringen)

**TABEL 8.5**

Totale kosten voor de kust in de BAU oplossingsrichting (excl. verbindende keringen).

	Scenario's				
	2040	2100	2100	2100	Verre toekomst
Zeespiegelstijging (cm)	24	60	85	150	500
<b>Maatregelen Kust</b>	<b>Kosten in miljard euro</b>				
Zandige kust	1,9	6,4	9,1	16,0	>50
Suppletie Waddenzee	1,1	3,8	5,4	9,6	?
Suppletie Westerschelde	0,1	0,4	0,6	1,1	?
Dijken	1,9	2,3	2,6	3,4	8
<b>Totaal</b>	<b>5</b>	<b>12,9</b>	<b>17,7</b>	<b>30,1</b>	<b>&gt;58</b>

## Verbindende Waterkeringen

In het achtergrondrapport "De veiligheid van de primaire waterkeringen in Nederland", behorende bij de resultaten van de eerste toetsronde van 1996 – 2001, worden 24 verbindende waterkeringen beschreven. Tot deze groep behoren dus ook de Deltawerken en de Afsluitdijk. De kosten van de aanleg van deze verbindende waterkeringen zijn indicatief voor de noodzakelijke aanpassingen en vervanging hieraan (Tabel 8.6).

Uit een eerste analyse blijkt dat voor elke verbindende waterkering apart gekeken moet worden naar een kostenschatting van de aanpassingen die nodig worden onder klimaatverandering en tot welke waterstandstijging er nog geen aanpassing nodig is. Op dit moment is dat binnen AVV niet gedaan. Wel is er een rekenvoorbeeld voor de Haringvlietsluizen gegeven in Box 8.1. Als op algehele vervanging van met name de kunstwerken moet worden overgegaan, zullen de kosten aanzienlijk zijn en zullen deze liggen in de orde van grootte van 10 miljard euro.

**TABEL 8.6**

Kosten aanleg Delta werken  
prijspeil geïndexeerd.



Bouwkosten	Miljoen gulden	Prijspeil jaar	Geïndexeerd 2007/miljoen euro
Stormvloedkering Hollandse IJssel	33	1954	98
Haringvlietkering	586	1961	1464
Brouwersdam	141	1961	353
Hellegatsplein en Volkeraksluizen	191	1961	477
Grevelingendam	66	1961	165
Stormvloedkering Oosterschelde	5500	1986	3850
Compartimenteringswerken	1069	1984	1604
Kanaal door Zuid-Beveland	610	1984	90 m15
Maeslantkering	990	1997	545
Europoortkering en Hartelkering	460	1997	253
<b>Deltawerken totaal</b>	<b>8195 (miljoen gulden)</b>		<b>8925 (miljoen euro)</b>

## Totale Kosten BAU

Onderscheid is gemaakt tussen de kosten voor rivierverruiming en de kosten voor de versterking van de primaire keringen, exclusief de verbindende waterkeringen zoals de Afsluitdijk en de Houtribdijk en de grote dammen en keringen van de Deltawerken. De kosten voor de verbindende waterkeringen hangen sterk af van het antwoord op de vraag tot wanneer beperkte aanpassingen mogelijk zijn. Als op algehele vervanging van met name de kunstwerken moet worden overgegaan, zullen de kosten aanzienlijk zijn en zullen deze liggen in de orde van grootte van 10 miljard euro. Ook zijn geen kosten opgenomen voor de gemalen die nodig zullen zijn.



**TABEL 8.7**

Absolute kosten van de BAU oplossingsrichting in miljard euro onder verschillende scenario's van zeespiegelstijging en rivierafvoeren. (excl BTW).



	Scenario's				
	2040	2100	2100	2100	Verre Toekomst
Zeespiegelstijging (cm)	24	60	85	150	500
Maatgevende afvoer Rijn	16.800	18.000	18.000	18.000	18.000
Maatgevende afvoer Maas	4200	4.600	4.600	4.600	4.600
	Kosten in miljard euro				
<i>Binnenwateren</i>					
Rivierverruiming Rijn	2,7	5,5	5,5	5,5	5,5
Rivierverruiming Maas	1,3	4,2	4,2	4,2	4,2
Dijkverhoging	0,2	1,8	2,6	6,1	36
<i>Kust + Estuaria</i>					
Zandige kust	1,9	6,4	9,1	16,0	25
Suppletie Waddenzee	1,1	3,8	5,4	9,6	?
Suppletie Westerschelde	0,1	0,4	0,6	1,1	?
Dijkverhoging	1,9	2,3	2,6	3,4	8
<b>Totaal</b>	<b>9</b>	<b>24</b>	<b>30</b>	<b>46</b>	<b>&gt;80</b>

Bij de berekening van de in de bovenstaande Tabel 8.7 gepresenteerde investeringskosten is er van uitgegaan dat de kosten voor de verschillende waterstandscenario's in één keer zullen worden gemaakt. De getallen zijn exclusief BTW en exclusief een financiële voorziening voor de risico's die verbonden zijn aan het uitvoeren van grote projecten. Beseft moet worden dat de onzekerheidsmarge rond de berekende kosten aanzienlijk is. Tot een zeespiegelstijging van 1,50 m zijn afwijkingen met een factor 2 zeer wel denkbaar. Voor de zeespiegelstijging van 5 m is de onzekerheid nog veel groter.

Voor een flexibel gebruik van deze informatie in de DOS AVV (zie Hoofdstuk 10) zijn nog aanvullende bewerkingen gewenst. Zo is er in de berekeningen tot nu toe uitgegaan van dijkverhoging bovenop een pakket aan rivierverruimende maatregelen en zijn de kosten niet berekend wanneer de hogere waterstanden op de rivieren uitsluitend met dijkversterking zouden worden gekeerd. Ook zijn er geen combinaties van klimaatverandering en normaanpassing doorgerekend – iets wat wellicht in de volgende fase van AVV wel gewenst is, en in ieder geval aan de orde is in het project WV21. Verder is er in bovenstaande berekeningen van uitgegaan dat de kosten voor de verschillende waterstandscenario's in één keer zullen worden gemaakt, terwijl dat bij de meer extreme scenario's niet waarschijnlijk is. Het uitstellen en faseren van investeringen kan aantrekkelijk zijn.

Daarom is er ook een berekening gemaakt van investeringen die worden gespreid over verschillende investeringsmomenten en waarvan de contante waarde vervolgens is berekend (Tabel 8.8). Voor het berekenen van de contante waarde is het nodig om aannamen te doen over het moment van investeren in dijkverhoging en rivierverruiming. De contante waarde is berekend voor het referentiejaar 2015. Voor de rivierverruiming is er van uitgegaan dat de eerste stap (na het realiseren van het basispakket van de PKB) plaats zal vinden in 2025 en de tweede stap in 2065. Voor de dijkverhoging is aangenomen dat de eerste stap al plaats zal vinden kort na 2015 en vervolgens om de

50 jaar. De suppleties vinden jaarlijks plaats, deze kosten zijn contant gemaakt. Uitgegaan is van een discontovoet van 2,5%.

**TABEL 8.8**

Kosten (Contante Waarde, CW2015, bij 2,5% disconto) per scenario, gefaseerd scenario's.

	Scenario's				
	2040	2100	2100	2100	2100
Zeespiegelstijging (cm)	24	60	85	150	500
Afvoer Rijn m³/s	16.800	18.000	18.000	18.000	18.000
Afvoer Maas m³/s	4200	4.600	4.600	4.600	4.600
	Contante waarde (miljard euro)				
Dijkverhoging	2,1	3,6	4,9	7,5	25
Rivierverruiming	3,1	4,8	4,8	4,8	
Kustfundament	1,4	3,0	4,3	7,6	
Waddenzee	0,8	1,8	2,5	4,5	
Westerschelde	0,1	0,2	0,3	0,5	
<b>Totaal</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>17</b>	<b>25</b>	

## Wanneer moeten we de Haringvlietkering vervangen?

De Haringvlietkering stamt uit 1970 en bestaat uit een dam, een schutsluis en 17 spuisluizen die ieder 62 m lang zijn. De bouw heeft 585 miljoen gulden gekost (prijspeil 1961) (Goemans en Smits, 1984). Geïndexeerd naar prijspeil 2007 zou dit circa 1,5 miljard euro zijn. Onderzoek van de Hogeschool Amsterdam (2007) stelt dat door een aanpassing van de schuiven (en wellicht ook de bewegingswerken) de kering geschikt kan worden gemaakt voor een zeespiegelstijging van 150 cm. De constructie als geheel blijkt ook voor die situatie voldoende sterk en stabiel. Op basis van expert judgement worden de kosten van vervanging van de schuiven (inclusief de bewegingswerken) geschat op circa 100 miljoen euro. De kosten van vervanging van het gehele sluizencomplex (inclusief de schutsluis) worden geschat op circa 1 miljard euro. De geschatte kosten voor algehele vervanging van het sluizencomplex zijn lager dan de geïndexeerde totale bouwkosten, die komen uit op circa 1,5 miljard euro (prijspeil 2007). Dat is op zich logisch: destijds moest ook het damgedeelte worden aangelegd en dat zal nu alleen moeten worden versterkt als gevolg van de hogere zeestanden.

De aanpassingskosten (vervanging van alleen de schuiven plus bewegingswerken) zijn beperkt van omvang ten opzichte van de vervanging van het gehele sluizencomplex. Gezien de verhouding van de kosten van aanpassing (circa 100 miljoen) en de kosten van vervanging (circa 1 miljard) ligt het voor de hand om te kiezen voor aanpassing tenzij het einde van de technische levensduur van de kering al dichtbij is.

Een belangrijke vraag is wanneer de eerste aanpassing zou moeten worden verricht. Uitgaande van een ontwerphorizon van 100 jaar, wordt aangenomen dat er bij dit ontwerp is uitgegaan van een stijging van de zeespiegel van 20 cm. Er zijn sinds het ontwerp zo'n 40-50 jaar verstreken dus de helft van de 20 cm stijging is inmiddels gerealiseerd. Er zou dus nog een marge van 10 cm beschikbaar zijn. Uitgaande van een scenario voor deze eeuw van 60 cm/eeuw voldoet de kering, wat de hoogte van de schuiven betreft, omstreeks 2025 niet meer. Aanpassing zou dan een investering vergen van circa 100 miljoen euro. Dit lijkt een verantwoorde investering, immers de technische levensduur van het sluizencomplex zal liggen tussen de 100 en 150 jaar, dus volledige

vervanging zou om deze reden pas plaats hoeven vinden in de periode 2070-2120. In de periode 2070-2120, als het einde van de technische levensduur is bereikt, zal de kering (dat wil zeggen de kunstwerken) geheel moeten worden vervangen. Als het tempo van zeespiegelstijging onverhoopt 150 cm/eeuw zou zijn, dan is aanpassing eerder nodig (2015). Dat is ook het geval als de schatting van de nog beschikbare marge te optimistisch is. Overigens zal een te lage kering niet direct bezwijken maar de golfoverslag over de schuiven neemt wel toe. Het voorgaande samenvattend komt het er op neer dat uitgaande van het scenario met een tempo van zeespiegelstijging van 60 cm/eeuw, in circa 2020 een investering van circa 100 miljoen euro nodig is om de kering aan te passen en afhankelijk van de technische levensduur een vervangingsinvestering van circa 1 – 1,5 miljard euro in de periode 2070 – 2120. Van de vervangingskosten is slechts een deel toe te rekenen aan de zeespiegelstijging.

## 8.2 Kosten Nederland Omhoog

In deze paragraaf worden de belangrijkste kostenposten voor de oplossingsrichting Nederland Omhoog ingeschat (zie paragraaf 7.2). De kosten zijn exclusief BTW.

### Volume zand integraal ophogen

Bij het integraal ophogen van een woonwijk is de belangrijkste directe kostenpost het volume benodigd zand. Om het volume ophoogzand te bepalen is met een GIS bewerking het oppervlak nieuw te bouwen woningen en bedrijven tot 2100 bepaald. We houden hierbij de RC en GE scenario's aan waarbij het totaal oppervlak aan nieuwbouw in de dijkkringgebieden op ongeveer 60.000-260.000 ha in 2100 uitkomt. We nemen verder aan dat hiervan zo'n 20% op slappe grond wordt gebouwd (zie ook paragraaf 8.3).

Op basis van het oppervlak opgehoogd gebied kan het ophoogvolume worden bepaald. Dat is gedaan met behulp van het AHN hoogtemodel (RWS, 2008). Met een nieuwe GIS bewerking wordt per grid-cel van 100 x 100 m bekeken hoe hoog het gemiddelde maaiveld is. Indien dit lager is dan +5 m NAP dan wordt het verschil ten opzichte van +5 m NAP bepaald. Stel dat dit voor een bepaalde grid-cel 8 m is, dan is het ophoogvolume voor die cel  $8 \times 100 \times 100 = 80.000 \text{ m}^3$ . Voor een stevige ondergrond zal dit getal wat lager liggen omdat het flauw aflopend talud minder zandvolume vraagt dan een ophoging met een verticale steile rand. Bovendien is het voor de veiligheid niet noodzakelijk om de hele wijk op +5 m boven NAP te bouwen en kan het afdoende zijn dat alleen de buitenranden (met een breedte van 200-300 m) op +5 m liggen en de binnenste delen wat lager. Deze volumeberekening is gemaakt voor het hele gebied van opgehoogde wijken en op basis daarvan is een totaal ophoogvolume geschat van ongeveer 9 miljard  $\text{m}^3$  zand.

Op stevige grond wordt met zand opgehoogd. Verondersteld wordt dat een zetting van rond 50% zal optreden voor klei en 150% op venige ondergrond (RIZA, 2004). Op slappe grond wordt daarom ook verondersteld dat met het materiaal EPS (Expandeerbaar Polystyreen, "piepschuim") opgehoogd wordt om grote zettingen en onderhoudskosten te voorkomen. Toch moet daarnaast rekening worden gehouden met zetting en het wegzuigen van veen op bepaalde locaties waardoor er meer zand nodig is. Om een zekere (netto) ophoging van +5 m NAP te bereiken is daarom het geschatte ophoogvolume met een factor 1,5 vermenigvuldigd. De benodigde hoeveelheid

ophoogzand wordt voor het GE scenario geschat op 16 miljard m<sup>3</sup> zand. Dat is over een periode van 90-100 jaar 160-180 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

Ter vergelijking staan in Tabel 8.9 de jaarlijkse hoeveelheden die nu worden gewonnen in de Noordzee. In het zeer extreme scenario waarbij 260.000 ha nieuwbouw (GE scenario) opgehoogd wordt moet er dus een volume zand worden gewonnen dat 5-6 keer groter is dan in de huidige situatie. In het geval er veel minder nieuwbouw plaatsvindt (circa 60.000 ha in 2100 in het RC scenario) is het benodigde volume zand 3,7 miljard m<sup>3</sup>. In dat geval zou er gemiddeld 40 miljoen m<sup>3</sup>/jaar nodig. Dat ligt in dezelfde orde grootte als de hoeveelheid zand die nu gewonnen wordt.

**TABEL 8.9**

→  
Jaarlijkse huidige hoeveelheden  
zand die worden gewonnen in de  
Noordzee.

Jaar	Miljoen m <sup>3</sup> /jaar
2003	23,9
2004	23,6
2005	28,8
2006	23,4
2007	28,3

## Directe kosten integraal ophogen op stevige grond

Op dit moment ligt de richtprijs per m<sup>3</sup> ophoogzand rond 10 euro/m<sup>3</sup> (Aerts et al., 2008 uit het blad Cobouw). Deze prijs ligt iets hoger dan de 7-9 euro/m<sup>3</sup> zoals beschreven in DHV (2006), omdat we ervan uitgaan dat het zeezand wordt ontzilt. Deze prijs is netto, zonder opslagen en BTW en weerspiegelt een landelijk gemiddelde. De prijs is franco werk, dus inclusief de transportkosten. De kosten van suppletiezand worden overigens in verschillende bronnen geschat op 3- 6,6 euro/m<sup>3</sup>. Het feit dat met de stijgende vraag het zand dieper onder de oppervlakte gewonnen moet worden kan de prijs wellicht verhogen. De grootschalige winning van het zand kan echter een verlagend effect op de prijs hebben. In de voorlopige berekeningen wordt aangenomen dat door de grote hoeveelheid winbare zand de stijgende vraag geen effect op de prijs zal hebben.

Ook andere ontwikkelingen kunnen invloed op de toekomstige prijs hebben. Zo creëren innovaties, ontwikkelingen in de baggermarkt (beschikbare capaciteit en aantal aanbieders) en ontwikkelingen in loon en brandstofprijzen onzekerheid over de zandprijs. Ook zal de naar verwachting stijgende internationale vraag naar zand een verhogend effect op de prijs kunnen hebben. Verder is de zandwinning in de Noordzee sterk gereguleerd. Strengere reguleringen opgelegd door de overheid kunnen een verhogend effect op de prijs kunnen hebben. Al deze ontwikkelingen zijn onzeker, maar zouden naar verwachting een beperkt effect op de prijs hebben. Bij een uitsplitsing van de kosten per dijkkring kan eventueel een correctie plaatsvinden op basis van een regionale disaggregatie van de transportkosten.

## Totale kosten ophogen op slappe grond

Bij het ophogen op slappe grond wordt slechts gebruik gemaakt van ophoogzand als afdeklaag. De kern van de ophoging bestaat uit het zeer lichte materiaal geëxpandeerd polystyreen (EPS). De volumekostprijs en aanlegkosten van EPS worden globaal 3

maal hoger ingeschat dan het standaard ophogen met ophoogzand (Movares, 2008). De kostprijs komt dan uit op ongeveer 30 euro/m<sup>3</sup>, met een grote onzekerheidsmarge vanwege de hoog oplopende kosten wanneer er op zeer slappe ondergrond gebouwd moet worden. De totale directe kosten voor het integraal ophogen op zowel slappe als stevige grond kunnen berekend worden door de kostprijs met de hoeveelheid zand te vermenigvuldigen. Niet verdisconteerd komen de totale kosten dan op 32-140 miljard euro voor respectievelijk het aantal ha's ophoging bij het RC scenario en het GE scenario. Verdisconteerd is dat 16-68 miljard (Tabel 8.10).

**TABEL 8.10**

Meerkosten integraal ophogen  
van de oplossingsrichting  
Nederland Omhoog (miljard euro).

	Kosten (euro/m <sup>3</sup> )	Volume (miljard m <sup>3</sup> ) RC-GE scenario	Kosten ophogen (miljard euro) niet verdisconteerd	Kosten ophogen (miljard euro) contante waarde (2015)
			2015-2100	2015-2100
Stevige grond	10	3 – 13	30 – 130	
Slappe grond	30	0,7 – 3,2	2,1 – 9,6	
<b>Totaal</b>			<b>~32 – 140</b>	<b>~16 – 68</b>

Er is niet gekeken welke aanpassingen van de investeringsmomenten optimaal zijn en wat de baten zijn van de ophoog oplossingsrichting. Ook is niet naar de optimale ophoging met betrekking tot kansen en kosten gekeken. Wel is een zodanig flexibel modelinstrumentarium opgezet dat in een latere fase van het AVV project alternatieve veronderstellingen doorgerekend kunnen worden.

## 8.3 Kosten Randstad Veilig

De oplossingsrichting Randstad Veilig is een combinatieoplossingsrichting waarbij op vooraf vastgestelde locaties nieuwbouwwijken worden opgehoogd in de Randstad. Tot 2040 is ook een BAU oplossingsrichting nodig om de dijken in de Randstad op orde te houden. Goede dijken geven immers de tijd om op te hogen zonder verhoogd risico. De opgehoogde wijken worden vervolgens (in de periode 2040-2100) met keringen verbonden, deels door aan te sluiten bij bestaande en deels door nieuwe verbindende keringen aan te leggen. Op deze manier ontstaan “superdijken” die de Randstad (en delen van Noord-Holland, Flevoland en Utrecht) beschermen. Bovendien is ook gekeken naar mogelijkheden voor multifunctioneel ruimtegebruik door de kosten in te schatten van nieuwe infrastructuur die onder de opgehoogde wijken wordt aangelegd.

Waar mogelijk wordt een schatting gemaakt en een schatting van de onzekerheidsfactoren van deze additionele kosten gegeven. Bij het berekenen van de contante waarde van de kosten wordt aangenomen dat de investeringen voor ophogen en onderhoud van nieuwe wijken gelijkmatig over het aantal jaren verdeeld worden, d.w.z. dat wordt verondersteld dat de nieuwbouwwijken gespreid in de tijd worden aangelegd. In alle berekeningen wordt de gebruikelijke discontovoet voor maatschappelijke kosten-batenanalyses van 2,5% gebruikt en wordt verdisconteerd naar het jaar 2015. Bij het berekenen van de kosten voor bestaande keringen en nieuwe keringen wordt ervan uitgegaan dat de investeringen in twee fases zullen gebeuren. Deze investeringsfasen zijn min of meer gelijk aan de momenten van investering zoals beschreven in de BAU-oplossingsrichting, waarin iedere 50 jaar de dijken worden versterkt om ze weer te laten voldoen aan de wettelijke normen.

De kosten voor ophoging worden uitgesplitst in de volgende categorieën:

- Integraal ophogen nieuwe wijken;
- Additionele constructiekosten;
- Aansluitingkosten op omliggende gebieden;
- Onderhoud;
- Effecten op bouwgrondprijs;
- Kosten verbindende keringen;
- Externe effecten;
- Kosten BAU maatregelen tot 2040;
- Extra optie: aanleg tunnel.

## Directe kosten integraal ophogen

Binnen deze oplossingsrichting wordt is door het model de Ruimtescanner bepaald dat het oppervlak nieuw te bouwen woningen en bedrijven in de Randstad tot 2100 ongeveer 110.000 ha zal zijn. Hiervan wordt 80.000 ha tot 2040 opgehoogd en 30.000 ha na 2040 opgehoogd. Van het 110.000 ha opgehoogd stedelijk gebied bevindt zich tot 2040 10% (8.000 ha) op slappe grond en 20% (6.000 ha) in de periode 2040-2100 op slappe grond. Hierbij wordt aangenomen dat er in fase 2 minder gunstige locaties zijn met een stevige ondergrond.

Op basis van de opgehoogde nieuwbouw kan een volumeberekening worden gemaakt die identiek is aan de berekening die is beschreven onder Nederland Omhoog (Paragraaf 8.2). Er wordt geschat dat ongeveer 4 miljard m<sup>3</sup> zand nodig is voor fase 1 (tot 2040) en 0,5 miljard m<sup>3</sup> zand voor fase 2 (2040-2100). Hiervan ligt 0,4 miljard m<sup>3</sup> op slappe grond in fase 1 en 0,1 miljard m<sup>3</sup> op slappe grond in fase 2. Dat is zo'n 40-45 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

## Directe kosten integraal ophogen Oplossingsrichting Randstad Veilig

Zoals beschreven in paragraaf 8.2 wordt een zandprijs aangehouden van 10 euro/m<sup>3</sup> Voor stevige grond. Op slappe grond wordt met EPS gewerkt en is gerekend met 30 euro/m<sup>3</sup>. De totale investeringen zijn gelijkmatig over de jaren verdeeld en verdisconteerd naar 2015 (Tabel 8.11).

**TABEL 8.11**

Kosten ophogen nieuwbouw in Randstad Veilig 2015-2040 en 2040-2100.



	Kosten (euro/m <sup>3</sup> )	Volume (miljard m <sup>3</sup> )		Kosten totaal (miljard euro) niet verdisconteerd		Kosten totaal (miljard euro) contante waarde (2015)	
		2015-2040	2040-2100	2015-2040	2040-2100	2015-2040	2040-2100
Slappe grond	30	0.4	0.1	12	3		
Stevige grond	10	5.4	0.6	54	6		
				66	9	49	3
<b>Totaal</b>				<b>75</b>		<b>52</b>	

## Additionele constructiekosten

De kosten voor het bouw- en woonrijp maken (wegen en groen) zijn naar verwachting hetzelfde als bij "normale" woonwijken. Deze bedragen ongeveer euro 75,= /m<sup>2</sup>. Normaal is 30 a 35% openbaar en 65 a 70% uitgeefbaar (Movares, 2008). De normale kosten voor het bouwrijp maken worden niet meegenomen omdat het geen additionele kosten zijn.

## Aansluitingskosten omliggende gebieden

De aansluitingskosten aan de omliggende gebieden zijn in de berekening meegenomen voor zover er in de berekeningen van de hoeveelheden zand een geleidelijk aflopen van de terpen verondersteld worden ('talud'). Met de bouw van wegen en spoorwegen zullen wellicht additionele constructiekosten gemoeid zijn. Deze zijn nu nog moeilijk in te schatten en zijn voorsnog niet opgenomen.

## Onderhoud

Op het moment is er nog geen zekerheid over de hoogte van onderhoudskosten van terpen. Voor de opgehoogde woonwijken worden daarom nog geen additionele onderhoudskosten berekend. Wel is de gevoeligheid van de totale kosten met betrekking tot eventuele onderhoudskosten uitgezocht. Onderhoud van de buitenwaterkeringen blijft de verantwoordelijkheid van de waterschappen en blijft naar verwachting van dezelfde orde van grootte als in het BAU scenario (jaarlijks onderhoud is ongeveer 0,2% van de investeringskosten).

## Effecten op bouwgrondprijs

Een indirecte kostenpost, die ook relevant zou kunnen zijn, volgt uit de effecten die de bouw op terpen op de bouwgrondprijzen kan hebben. De bouwgrond wordt naar verwachting duurder omdat er wellicht meer bouwgrond nodig is om een huis te bouwen. Dit effect is moeilijk in te schatten, vooral omdat de bouwgrondprijs niet stabiel is en moeilijk voorspeld kan worden. Een potentieel groter effect op de bouwgrondprijzen zal de verandering van het landgebruik kunnen hebben. Deze twee effecten zijn in dit rapport niet uitgewerkt. Ze vergroten echter wel de onzekerheid en zijn in de onzekerheidsmarge opgenomen.

## Verbindende keringen (2040-2100)

Hierbij wordt uitgegaan van een samenvoeging van de opgehoogde wijken langs bestaande waterkeringen en andere infrastructuur tot superdijken. De buitenkant van de opgehoogde wijk bestaat dan uit een dijk waarna er een flauw aflopend talud van zand volgt (de breedte van ophoging hangt af van de locatie en ondergrond).

In een eerste globale verkenning wordt gedacht aan een ring die zou lopen via de zandige kust van Hoek van Holland tot de hoogte van Alkmaar in Noord-Holland inclusief de dijken in dit traject. Vandaar uit wordt dwars door Noord Holland aangesloten op de Dijk Enkhuizen – Lelystad. Dan via de Knardijk, vervolgens een aansluiting op de Veluwe (zeg bij Harderwijk), de Veluwe ligt hoog – dan de dijk van dijkkring 45 langs de Nederrijn, de dijk van dijkkring Kromme Rijn (dijkkring 44) langs de Nederrijn/Lek – de gekanaliseerde Hollandsche IJssel (dijkkring 14) – De Hollandsche IJssel (dijkkring 14) – het traject Hollandsche IJssel naar zee (dijkkring 14)

Voor de bouw en het onderhoud van compleet nieuwe dijken wordt verwezen naar de compartimenteringstudie van Ven W die momenteel wordt uitgevoerd (persoonlijke communicatie VenW, 2008). Hierin wordt een bedrag genoemd van ongeveer 18 miljoen euro per km.

## Externe effecten

Externe effecten zijn vooral maatschappelijk gedragen effecten, die moeilijk in cijfers zijn uit te drukken. Deze zijn nog niet meegenomen in de bepaling van de totale kosten van de ophoogplossingsrichting. Deze effecten moeten uiteindelijk kwalitatief en waar mogelijk kwantitatief beoordeeld worden in de vervolgfase van het AVV project. De belangrijkste externe effecten worden hieronder genoemd:

## Effecten op de ecologie

Grootschalige zandwinning in de Noordzee kan negatieve effecten op de ecologie hebben. De Raad voor Verkeer en Waterstaat schrijft dat in het algemeen de negatieve effecten van reguliere winning te overzien lijken. Dit omdat ze lokaal van karakter zijn en zich in veel gevallen mettertijd herstellen. Het is verder sterk afhankelijk van de situatie hoe snel de zeebodem en flora en fauna zich herstelt na zandwinningswerkzaamheden. De effecten op lange termijn zijn in veel gevallen nog onbekend, net als de cumulatieve effecten van verschillende winningen. De zandwinning in de Noordzee is op dit moment sterk gereguleerd, en in zandwinningsgebieden die 100 hectare of groter zijn is het wettelijk verplicht een milieueffect reportage (MER) te laten maken. Door de forse vraag naar zand kunnen deze effecten sterker worden. Een positief effect van de ophoogplossingsrichting is dat eventueel meer ruimte voor de natuur kan ontstaan, met name op het talud.

## Esthetische effecten

Door alle nieuwbouwwijken op +5 m NAP te plaatsen ontstaan er dijken om een stad. Dit zou door mensen esthetisch niet gewaardeerd kunnen worden. Anderzijds kan een creatieve inrichting van de superdijken leiden tot een hogere esthetische waarde. Overigens, ook aan de ophoging van de bestaande dijken conform de BAU oplossingsrichting zullen negatieve esthetische effecten verbonden kunnen zijn.

## Effecten op waterbeheer

Er kan in delen van het gebied dat omringd wordt door terpen meer wateroverlast optreden na extreme neerslag. Het water kan immers niet meer vrij wegstromen omdat deze gebieden volledig omringd worden door de superdijken. In deze gebieden zal dus extra opslag en misschien ook gemaalcapaciteit moeten worden ingezet om de neerslag af te voeren over de superdijk te pompen. Een positief effect is dat water in sommige gebieden meer ruimte krijgt. De nieuwe woningen worden immers geconcentreerd op de terpen en niet gefragmenteerd in het landschap. Een ander positief effect is dat het



overstromingsrisico's in de gebieden achter de superdijk gereduceerd wordt tot bijna Nul. Schade zal alleen ontstaan door golfoverslag waardoor eventueel kelders van huizen op de terp kunnen vollopen.

## Kosten BAU tot 2040

De BAU kosten voor de periode 2015-2040-2100 worden hier niet verder weergegeven. Er is een ruwe schatting gemaakt van de BAU kosten onder 24 cm zeespiegelstijging tot 2040. Deze bedragen ongeveer 5 miljard euro (Zie Aerts et al., 2008)

## Schatting totale kosten Nederland Omhoog

Onderstaande tabellen geven een eerste globale schatting van de kosten van Randstad Veilig. Zoals uit het bovenstaande blijkt zijn de onzekerheden nog zeer groot en moeten de getallen met grote omzichtigheid worden geïnterpreteerd. Wel geven de schattingen een indicatie van de orde van grootte van kosten die naast de kostenschattingen van de BAU kan worden gelegd. Tabel 8.12 presenteert de verdisconteerde kosten van de oplossingsrichting. Om de onzekerheid tot uitdrukking te brengen is een ruwe boven- en ondergrens van de kosten aan gegeven, waarbij een onzekerheidsmarge is aangehouden van 40%.

**TABEL 8.12**

Overzicht Kosten  
Oplossingsrichting Randstad  
Veilig 2015-2100, contante waarde  
2015 (CW 2015).



Categorie	Contante waarde 2015 (miljard euro)
Ophogen nieuwe wijken	52
Verbinding langs bestaande keringen	5
Nieuwe Verbindingen	0,5
BAU tot 2040	5,2
Totaal	62,7
Onzekerheidsmarge (+/- 40%)	37,6-87,8
Gemiddelde jaarlijkse kosten (miljard euro/jaar) (+/- 40%)	~1,6

## Extra optie: aanleg tunnel

Zoals beschreven kan onder de opgehoogde wijken een waterdichte tunnel worden aangelegd die dient voor (transport-) infrastructuur om de ruimte optimaal te gebruiken. De lengte van de tunnel wordt op ongeveer 300 km geschat. Gegeven de verdeling van de nieuwbouw over de twee fasen worden rond 210 km van de tunnel in fase één en rond 90 km in fase twee gebouwd. Volgens gegevens van Movares (2008) wordt met kosten van 55 miljoen euro/km gerekend. Deze kosten zijn voor een tunnel met een inwendige breedte van 30 m, waarbij spoor, beveiliging, bovenleidingen en engineering al zijn meegerekend evenals tunneltechnische installaties (T.T.I) en asfalt. Niet verdisconteerd loopt dit bedrag op ongeveer 15 miljard euro. Ter vergelijking, de aanleg van een light rail werd begroot op 20 miljoen euro/km (VROM, 2002).

## Gevoeligheidsanalyse

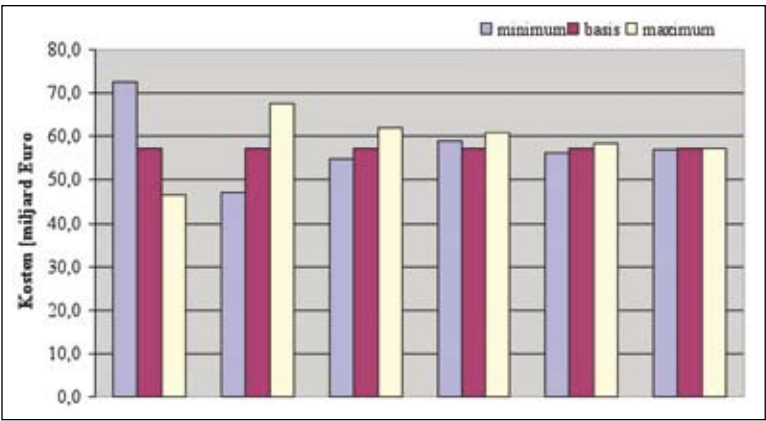
Om een betere indruk te krijgen van de onzekerheden in en boven- en ondergrens van de meerkosten, is een schetsmatige gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De volgende punten kunnen een effect hebben op deze totale additionele kosten: Discontovoet, Kostprijs integraal ophogen, Bouwen op slappe en stevige grond, Kosten verbindingen langs bestaande keringen, Kosten nieuwe verbindingen, onderhoud Terpen.

Deze analyse kent een aantal lastige terugkoppelingen: een verandering of een verschuiving in de vraag naar stedelijk gebied heeft grote indirecte effecten op andere kostenposten. Zo zal bijvoorbeeld een geringere vraag naar stedelijk gebied een indirect effect hebben op de te maken kosten voor nieuwe en bestaande verbindingen (deze zullen groter uitvallen). Voor alle bestudeerde veronderstellingen worden twee scenario's met onzekerheidsmarges getest: één lager (-20%) en één hoger scenario (+20%) wordt met het basisscenario vergeleken. Onderstaand worden de effecten van deze veranderingen afgebeeld (Figuur 8.3). In de analyse is alleen het effect voor ieder individueel punt (aannames, kostenposten) bekeken.

Uit Figuur 8.3 blijkt dat (door hun geringe aandeel in de totale meerkosten) Kosten verbindingen langs bestaande keringen (20 procent variatie) en Kosten nieuwe verbindingen (20 procent variatie) maar marginale uitwerkingen op deze totale meerkosten. Verder blijkt dat de kostprijs integraal ophogen en het aandeel dat op slappe ondergrond gebouwd een merkbare invloed heeft op de totale meerkosten. Het is dus van belang dat deze kostenposten zo precies mogelijk geschat worden omdat afwijkingen van de aannames merkbare effecten op de totale meerkosten kunnen hebben. Een onzekerheidsmarge van 20%-40% op de totale meerkosten lijkt gerechtvaardigd gezien de onzekerheden in de modelveronderstellingen, met name die ten aanzien van de prijsontwikkelingen van de zandmarkt. Hierboven is daarom ook 40% onzekerheid aangehouden in de kostenberekeningen (Figuur 8.3).

151

**FIGUUR 8.3**  
Gevoeligheidsanalyse van de invloed van de kostenposten op de totale additionele kostprijs van de oplossingsrichting Nederland Omhoog onder het zeespiegelstijgingsscenario van +5 m.



	Disconto voet	Kostprijs integraal ophogen (zand/EPS)	Aandeel op slappe grond (fase 1/fase2)	Onderhoud Terpen	Kosten verbinding bestaande keringen	Kosten nieuwe verbindingen
Minimum	1%	8/24 euro/m³	5%/10%	0.1%	80%	12 miljoen euro/km
Basis	2.5%	10/30 euro/m³	10%/20%	0 %	100%	15 miljoen euro/km
Maximum	4%	12/36 euro/m³	20%/40%	0.2%	120%	18 miljoen euro/km

## 8.4 Ruwe kostenschattingen wateroverlast en klimaatverandering

In het AVV project is voor wat betreft het beheersen van wateroverlast slechts een globale kostenschatting gemaakt op basis van bestaande studies. Het doel hiervan is om de kosten te kunnen afzetten ten opzichte van de oplossingsrichtingen BAU en Nederland Omhoog.

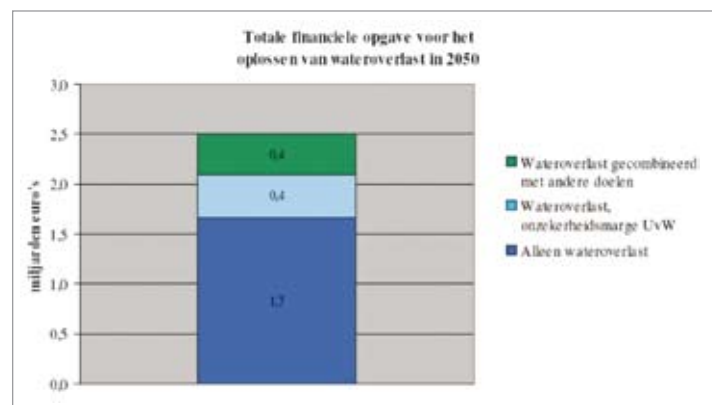
Kragt et al. (2006) schrijven dat de kosten voor waterberging in belangrijke mate worden bepaald door de keuze tussen grondverwerving of schadevergoeding. De aanleg van een bergingsgebied door aankoop grond in hoog-Nederland is daarbij ongeveer 10x zo duur als een schadevergoeding (euro 30.000/ha respectievelijk circa euro 3000/ha). Dezelfde aankoop van bergingsgebieden in laag-Nederland blijken zelfs 10x zo hoog als in hoog-Nederland (euro 250.000/ha respectievelijk euro 30.000/ha). Deze hoge kosten voor grondverwerving is voor een aantal waterschappen aanleiding geweest een schadevergoeding als maatregel voor te stellen of de realisatie van berging in cofinanciering van integrale projecten te zoeken. "Enkele waterschappen sturen zelfs aan op functieverandering van landgebruik en acceptatie van de wateroverlast".

De totale uitgave voor alle deelnemende partijen voor onder andere de aanpassing en (her) inrichting van het oppervlaktewaterstelsel voor WB21, KRW en andere waterdoelen wordt in 2007 tot en met 2015 geraamd op euro 4 miljard. De uitgave voor de waterschappen hierin wordt geraamd op euro 2,5 miljard. De verdeling van de totale uitgaven over de diverse partijen is als volgt: waterschappen 60%, gemeenten 5%, provincies 20% (inclusief ILG), Rijk 4%, Europa 2%, overig 9%. Ongeveer 80% wordt toegerekend aan WB21 (42%) en KRW (37%) en 15% wordt toegerekend aan watertekorten/verdroging. De overige 5% is voor andere waterdoelen zoals ecologische verbingszone, beekherstel, kwaliteitsbaggeren en recreatieve voorzieningen (Kragt et al., 2006).

Kragt et al. (2006) hebben een en ander verder gespecificeerd. Uitgaande van een wateropgave van ongeveer 35.000 ha die voor 80% opgelost dient te worden met waterberging komen Kragt et al. (2006) tot een wateroverlastopgave van 2,5 miljard euro. Deze is opgebouwd uit de volgende posten (Figuur 8.4):

- euro 1,7 miljard voor het oplossen van wateroverlast (70%);
- euro 0,4 miljard als onzekerheidsmarge toegevoegd door de Unie van Waterschappen (15%);
- euro 0,4 miljard voor het oplossen van wateroverlast in samenhang met andere doelen (integrale aanpak, 15%).

**FIGUUR 8.4**  
Financiële opgave voor het oplossen van wateroverlast 2050 (KNMI middenscenario) (Uit: Kragt et al., 2006).



Deze euro 2,5 miljard is lager dan de euro 4,0 miljard die eerder in een studie in het kader van de NBW is berekend. Deze lagere kosten zijn te verklaren omdat Kragt et al. (2006) uitgaan van een lagere wateropgave (425 miljoen m<sup>3</sup> in het NBW rapport en 238 miljoen m<sup>3</sup> in het rapport van Kragt et al., 2006) en ook de halvering van het oppervlak nodig geachte berging (66.000 ha NBW, 35.000 ha Kragt et al., 2006). Uitgaande van 2,5 miljard euro (Figuur 8.4) zou dat overeenkomen met 10 euro/m<sup>3</sup> voor een totale wateropgave van 238 miljoen m<sup>3</sup>. Waarschijnlijk zijn de getallen van Kragt et al. (2006) aan de lage kant ook gezien de globale waterbalansberekeningen van Kwadijk (2008) onder verschillende klimaatscenario's.

Het is overigens belangrijk op te merken dat deze schatting van euro 2,5 miljard sterk verschilt met die van de wateropgave zoals bepaald in de Deelstroomgebiedsvisies (2003). Hierin wordt een bedrag genoemd van euro 18 miljard. Dit is te verklaren doordat de opgave in deze berekening ook betrekking heeft op andere doelen dan wateroverlast vanuit het oppervlaktewatersysteem, zoals afkoppelen in stedelijk gebied (euro 8,5 miljard), waterkwaliteit (anders dan afkoppelen), verdroging/watertekort, bodemdaling en veiligheid tegen overstromingen.

### Kosten voor waterberging voor een dag met extreme neerslag

Uit de studie van Immerzeel en Droogers (2008) blijkt dat het totaal aan huidige wateroverlast als gevolg van extreme neerslag in 1 dag voor alle dijkringen 19 miljoen m<sup>3</sup> is (Immerzeel en Droogers, 2008). In 2050 (klimaatscenario W en MNP Trendscenario) wordt dit 61 miljoen m<sup>3</sup> (een toename van 317%). Uitgaande van een gemiddelde kostprijs voor berging in het landelijke gebied van 10 euro/m<sup>3</sup>, zoals bepaald in de studie van Kragt et al. (2006), kunnen de extra kosten ten gevolge van klimaatverandering geschat worden op 420 miljoen euro. In een alternatieve berekening wordt uitgegaan van een grondprijs voor het opkopen van bergingsgebieden van 30.000 euro/ha en een bergingsdiepte van een 0,5 m. Als er relatief veel bergingsgebieden in laag Nederland moet worden gevonden, dan zou de prijs van 30.000 euro/ha aan de lage kant kunnen zijn. Uitgaande van deze getallen zouden de kosten uitkomen op 6 euro/m<sup>3</sup> \* 42 miljoen m<sup>3</sup> = 252 miljoen euro. De kosten voor het extra bergen van extreme neerslag in één dag in 2050 liggen dan tussen de 252-420 miljoen euro.

De overheid heeft ook de mogelijkheid boeren te compenseren voor schade door wateroverlast. Er wordt een gewoonlijk een vergoeding van gemiddeld 0,30 euro/m<sup>3</sup> gehanteerd maar dit verschilt per regio. De totale extra jaarlijkse kosten kunnen dan worden geschat op 12,6 miljoen euro.

## 8.5 Vergelijking kosten waterveiligheid

Op basis van de bovenstaande paragrafen kunnen we een overzicht maken van de kosten van AVV oplossingsrichtingen. Daarnaast is met de aanvullende informatie over bestaande oplossingsrichtingen en visies zoals beschreven in Hoofdstuk 5 een vergelijking te maken met de kosten van deze bestaande varianten. De kosten zijn exclusief BTW.

In Tabel 8.13 staan de totale kosten (niet verdisconteerd) en de kosten uitgedrukt in contante waarde (2015) voor de oplossingsrichtingen BAU, Nederland Omhoog en Randstad Veilig. De kosten voor de BAU oplossingsrichting variëren per zeespiegelstijgingsscenario. In dit geval is gekeken naar +60 cm en +150 cm zeespiegelstijging. De kosten voor de ophoogvarianten Nederland Omhoog en Randstad Veilig zijn constant voor de twee zeespiegelstijgingsscenario's. De ophoging is immers altijd tot een hoogte van +5 m NAP.

Bij 85 cm zeespiegelstijging per eeuw is het verschil in kosten (contante waarde, CW) aanzienlijk: 7 miljard euro voor de BAU oplossingsrichting, 16-68 miljard (afhankelijk van het RC of GE scenario) voor de oplossingsrichting Nederland Omhoog en ongeveer 62 miljard voor de oplossingsrichting Randstad Veilig. De belangrijkste reden hiervoor is dat in Nederland Omhoog de investeringen in ophogen direct inspelen op extreme zeespiegelstijging in de verre toekomst. Een nieuwe woonwijk eerst 85 cm ophogen en dan later nog eens 415 cm zou deze oplossingsrichting waarschijnlijk nog duurder maken. Alleen de keringen en de verbindende keringen in Randstad Veilig kunnen in verschillende stappen worden verhoogd conform de aanpak in de BAU oplossingsrichting (hiervoor is in deze tabel geen kostendifferentiatie gemaakt). Er wordt overigens nogmaals op gewezen dat de kostenposten nog niet compleet zijn. Bij de BAU oplossingsrichting ontbreken de investeringen in verbindende keringen en de grote kunstwerken (zoals de Deltawerken). Ook is er geen schatting gemaakt van extra gemalen.

Bij +150 cm zeespiegelstijging zijn de verdisconteerde kosten 17 miljard voor de BAU oplossingsrichting en wederom 16-68 miljard euro voor Nederland Omhoog. De kostenstijging voor de BAU oplossingsrichting kan eenvoudig verklaard worden met de kostenfunctie. De kosten voor dijkverhoging stijgen exponentieel bij hogere zeespiegelstijgingsscenario's. Dijken worden immers niet alleen hoger maar ook veel breder, wat de kosten hoger maakt, evenals het ruimtebeslag.

**TABEL 8.13**

Totale kosten (niet verdisconteerd) AVV varianten onder verschillende zeespiegelstijgingsscenario's voor de periode 2015-2100. De boven- en ondergrens van de kosten voor Nederland Omhoog wordt bepaald door het verschil in benodigde oppervlakte voor nieuwbouw in de dijkkringgebieden (RC versus GE scenario)

	Scenario	
	60 cm	150 cm
	Niet verdisconteerd (miljard euro)	Niet verdisconteerd (miljard euro)
Oplossingsrichting		
BAU	24	46
Nederland Omhoog	32 - 140	32 - 140
Randstad Veilig	75	75

Voor de vergelijkbaarheid met jaarlijkse kosten uit andere studies zijn de kosten van verschillende oplossingsrichtingen omgezet in gemiddelde jaarlijkse kosten. Elke studie heeft de jaarlijkse kosten volgens verschillende methoden bepaald. In Tabel 8.14 wordt de methode van Vellinga (2006) aangehouden waarbij de totale niet verdisconteerde kosten worden verdeeld over het aantal jaren. In Tabel 8.15 worden voor de AVV oplossingsrichtingen ook nog eens de jaarlijkse verdisconteerde waarden gegeven.

**TABEL 8.14**

Jaarlijkse niet verdisconteerde kosten van oplossingsrichtingen bij verschillende zeespiegelstijging-scenario's voor de periode 2015-2100

	Jaarlijkse kosten / zeespiegelstijgingsscenario			
	(2015)	24 cm (2040)	60 cm (2100)	150 cm (2100)
	(miljard euro/jaar)	(miljard euro/jaar)	(miljard euro/jaar)	(miljard euro/jaar)
<b>Oplossingsrichting</b>				
Cie. Vellinga (2006)	0.9		0,43	0,77
BAU (AVV, 2008)		0,25	0,33	0,62
BAU (Klijn et al. 2007)		0.08		
BAU (VenW, 1986) <sup>1)</sup>				< 1,1
Nederland Omhoog (AVV, 2008)		0,38-1,65	0,38-1,65	0,38-1,65
Randstad Veilig (AVV, 2008)		0,88	0,88	0,88
Autonoom (Klijn et al. 2007)	0.22			
Tweede Zeedijk (VenW, 1986) <sup>1)</sup>				< 2,5
Leven met Wat. (Klijn et al. 2007)		0,10		
Terugtrekken (Klijn et al. 2007)		0,05		
Terugtrekken (VenW, 1986) <sup>1)</sup>				< 0,6

<sup>1)</sup> De kosten gelden voor een zeespiegelstijging van +5 m. De kosten voor +1,5 m zeespiegelstijging zouden volgens deze studie naar alle waarschijnlijkheid lager uitvallen

Te zien is dat de jaarlijkse kosten van de BAU oplossingsrichting (Sprong, 2008) 0,33 en 0,62 miljard euro/jaar zijn voor respectievelijk 60 cm en 150 cm zeespiegelstijging in een eeuw. De commissie Vellinga (2006) komt op vergelijkbare getallen van 0,43 en 0,77 miljard euro/jaar (Tabel 8.15). De jaarlijkse kosten voor de ophoogvariant zijn een stuk hoger (0,38-1,65 miljard euro/jaar). Dat heeft zoals gezegd te maken met het direct op +5 m hoogte brengen van grote stukken nieuwbouw. De orde grootte van deze jaarlijkse ophoog kosten liggen echter lager dan de jaarlijkse kosten van de oplossingsrichting "tweede zeedijk" (VenW, 1986).

De kosten in Klijn et al. (2007) zijn bepaald met 3,5% van de investeringskosten en zijn een stuk lager dan bijvoorbeeld de kosten van de BAU oplossingsrichting van AVV. Klijn et al. (2007) heeft overigens alleen de kosten bepaald onder een zeespiegelstijgingsscenario van 24 cm tot 2040.

De meest gangbare methode is overigens uit te gaan van jaarlijkse kosten die kunnen worden geïnterpreteerd als een vast bedrag (annuïteit), dat ieder jaar betaald moet worden om de totale kosten van de oplossingsrichting tussen 2015 en 2100 te betalen (bij een rentevoet van 2,5%). De investeringskosten worden hierbij gespreid gedacht over de tijd, analoog aan het spreiden van de kosten van een huis door middel van een hypotheek. Ook deze getallen zijn uitgerekend worden gepresenteerd in Tabel 8.15.

**TABEL 8.15**

Jaarlijkse kosten (Contante Waarde) van de AVV oplossingsrichtingen bij verschillende zeespiegelstijgingsscenario's voor de periode 2015-2100



	Jaarlijkse kosten / zeespiegelstijgingsscenario			
	(2015)	24 cm (2040)	60 cm (2100)	150 cm (2100)
	(miljard euro/jaar)	(miljard euro/jaar)	(miljard euro/jaar)	(miljard euro/jaar)
Oplossingsrichting				
BAU (AVV, 2008)			0,33	0,62
Nederland Omhoog (AVV, 2008)		0,38-1,65	0,38-1,65	0,38-1,65

Het is echter belangrijk te beseffen dat om een uitspraak te doen over de kosteneffectiviteit van de verschillende oplossingsrichtingen er een volledige kosten baten afweging moet worden gemaakt. Deze geeft inzicht hoe de gemaakte kosten zich verhouden tot wat de oplossingsrichting oplevert. Dat is niet gebeurd in deze studie en er kunnen dus geen conclusie worden getrokken over welke oplossingsrichting meer kosten effectief is in vergelijking met de andere.

In Tabel 8.16 staan de jaarlijkse investeringen wat de AVV oplossingsrichting BAU en Nederland omhoog betekenen in termen van de netto toename in het schaderisico. Duidelijk is dat dijkverzwaring veel goedkoper is dan de ophoogvariant en dat de toename in schaderisico onder de BAU variant het minste is. De jaarlijkse kosten uitgedrukt als percentage van het BNP (2007) blijven naar verwachting beperkt tot 0,1-0,2% voor de BAU variant en 0,1-0,5% voor de variant Nederland Omhoog.

**TABEL 8.16**

Jaarlijkse kosten (miljard euro/jaar) voor de BAU oplossingsrichting en de oplossingsrichting Nederland Omhoog en onder verschillende zeespiegelstijgingsscenario's voor de periode 2015-2100.



Oplossingsrichting	BAU	BAU	Nederland Omhoog	Nederland Omhoog
	2100 GE, 60 cm	2100 GE, 150 cm	2100 GE, 60 cm	2100 GE, 150 cm
Jaarlijkse kosten (miljard euro/jaar)	0,28	0,54	0,38-1,65	0,38-1,65
Netto toename schaderisico <sup>1)</sup> (miljard euro/jaar)	0,41	0,6	1,0	73
Jaarlijkse kosten % BNP	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,5	0,1-0,5

<sup>1)</sup> Dit is het overstromingsrisico dat is bepaald door het schaderisico zoals bepaald in Hoofdstuk 7 met behulp van overschrijdingskansen te delen met een factor 3. Op deze wijze wordt grofweg een indicatie verkregen over het overstromingsrisico aangezien globaal gezien de overstromingskansen een factor 3 lager zijn dan de overschrijdingskansen (zie ook Klijn et al., 2007). Vervolgens is het verschil bepaald ten opzichte van het huidige schaderisico (88 miljoen/jaar). Hierdoor wordt inzicht verkregen in de verandering van het schaderisico ten opzichte van de huidige situatie.

## 9.1 Investeringsmomenten in de tijd

Grootschalige investeringen in veiligheidsmaatregelen worden meestal gespreid over langere perioden. Dit heeft onder andere te maken met kosten-baten afwegingen en de discontovoet die hierbij gehanteerd wordt. Voor het uitdrukken van de huidige waarde van een toekomstige investering spreekt men van de contante waarde van toekomstige cashflows, te berekenen met behulp van een discontovoet. Op deze wijze gezien is het bijvoorbeeld financieel gezien voordelig om investeringen in dijkverhoging te spreiden over perioden van 50 jaar. Dat is ook gebeurd in de berekening van bijvoorbeeld de BAU variant (Hoofdstuk 8). Echter, economisch gezien kan een uitstel van betreffende investering ook ongunstig zijn, als gevolg van inmiddels oplopende risico's, bijvoorbeeld als de zeespiegel toch harder gaat stijgen dan verwacht. Door de contante waarde van verschillende scenario's voor de timing van de investeringen met elkaar te vergelijken, kan een optimaal investeringsmoment worden gekozen.

Los van de discussie over de hoogte van de te hanteren discontovoet en of het verdisconteerde investeringsbedrag in de toekomst wel beschikbaar is, is er dus onzekerheid die is gerelateerd aan het moment van investeren. Bij een gelijkblijvend klimaat of in ieder geval een klimaat dat zich trendmatig ontwikkelt, zullen ook de kansen op bepaalde gebeurtenissen zich min of meer voorspelbaar ontwikkelen. Hieruit zijn de optimale investeringsmomenten goed te bepalen. Echter als door klimaatveranderingen plotseling de zeespiegel sneller gaat stijgen of de rivierafvoer meer gaat toenemen, dan stijgen de kansen op overstromingen sneller dan verwacht. Hierdoor zal het optimale investeringsmoment om dijkverhoging uit te voeren naar voren verschuiven. Bijvoorbeeld: de kans op overschrijding van de maatgevende waterstand langs de Hollandse kust zal in een eeuw met ongeveer factor 10 toenemen als de zeespiegel 70 cm/eeuw stijgt. Als de zeespiegel stijgt met 140 cm/eeuw wordt dit een factor 100, dus de kans van het overschrijden van de huidige maatgevende waterstand gaat in die situatie van 1/10.000 jaar (huidige situatie) naar 1/100. Het schaderisico neemt in het laatste geval dus veel sneller toe.

Kortom, vanuit kosten-baten oogpunt is het interessant te bekijken wat de invloed is van het vaststellen van investeringsmomenten en hoeveel het kost wanneer (later) blijkt dat dit moment eigenlijk vroeger valt door onverwacht snelle klimaatverandering. Je zou kunnen stellen dat een robuuste investeringsoplossingsrichting met bepaalde investeringsmomenten een hoge adaptieve capaciteit heeft wanneer deze onder verschillende scenario's (van bijvoorbeeld zeespiegelstijging) een goede kosten-baten verhouding laat zien.



## 9.2 Investeringsroutes en omslagpunten

De discussie over de snelheid van zeespiegelstijging wordt momenteel gevoerd in vele wetenschappelijke fora. Het blijkt dat er nog veel onzekerheid is gezien de grote marges die er momenteel worden aangehouden. Het IPCC (2007) houdt 59 cm per eeuw aan terwijl Rahmstдорff (2006) laat zien dat dit maximaal 140 cm zou kunnen bedragen. De historische zeespiegelstijging van pakweg de laatste 100 jaar is ongeveer 20 cm afhankelijk van de meetlocatie op aarde. Kortom, de snelheid zal waarschijnlijk ergens tussen de 20 en 150 cm per eeuw liggen.

Om de discussie omtrent de meest waarschijnlijke snelheid van zeespiegel stijging te vermijden is het wellicht goed te bekijken welke investeringsoplossingsrichtingen er zijn en tot welke maximale zeespiegelstijging (en snelheid van stijging) deze houdbaar zijn. Dit concept is uitgewerkt in de studie Thames Estuary 2100 (EA, 2007) Het aspect tijd wordt losgelaten en op de horizontale "tijdas" staan geen jaartallen maar getallen van zeespiegelstijging. Vervolgens wordt een investeringsoplossingsrichting ontwikkeld met daarin verschillende maatregelen die soms tegelijk, soms achterelkaar worden uitgevoerd, afhankelijk van de mate van zeespiegelstijging.

### Business As Usual (BAU) route

De huidige oplossingsrichting is gebaseerd op dijkverhoging en rivierverruiming. Bij het opstellen van het korte termijn maatregelenpakket (het basispakket) van de PKB Ruimte voor de Rivier is uitgegaan van de huidige maatgevende afvoer van de Rijn van 16.000 m<sup>3</sup>/s en van de huidige zeespiegel. Dit pakket moet in 2015 zijn gerealiseerd. Voor de lange termijn (2100) is een visie geformuleerd uitgaande van een zeespiegelstijging van 60 cm en een Rijnafvoer van 18.000 m<sup>3</sup>/s. Geconcludeerd is dat de voor dit scenario benodigde verruiming mogelijk is en de hiervoor ook binnendijs benodigde ruimte is in de PKB gereserveerd. In een deel van het benedenrivierengebied zal, bij een scenario met 60 cm zeespiegelstijging, aanvullende dijkversterking nodig zijn. Ook voor de Maas is er een onderscheid tussen de in uitvoering zijnde Maaswerken en de aanpak voor de lange termijn als geformuleerd in de Integrale Verkenningen Maas. Hierbij is voor de lange termijn uitgegaan van 4.600 m<sup>3</sup>/s. Voor het IJsselmeergebied kan een stijging van de zeespiegel tot circa 40 cm door vergroting van de spuicapaciteit kunnen worden opgevangen, daarna is dijkversterking nodig.

Langs de kust wordt, als aanpassingen nodig zijn, bij die benodigde aanpassingen tevens een toekomstige zeespiegelstijging over een periode van 50 jaar meegenomen, dus uitgaande van het huidige officiële scenario is dat circa 30 cm.

Bij de bouw van de huidige stormvloedkeringen is rekening gehouden met een bepaalde zeespiegelstijging. Zodra deze bereikt is, zullen er aanpassingen nodig zijn. Als de stijging te groot is, zal moeten worden overwogen om de kering te vervangen.

Als in 2015 het systeem op orde is, dat wil zeggen precies aan de huidige normen voldoet, dan zijn er zodra de zeespiegel of de rivierafvoer stijgt, opnieuw maatregelen nodig als we aan de huidige norm willen blijven voldoen.

## Mogelijke oplossingsrichtingen

In Figuur 9.1 worden enkele denkmodellen beschreven ("route 1, 2a of 3a"). Dit is een zeer globale aanzet om de denkwijze te illustreren. Uiteraard zal deze veel beter en verder moeten worden uitgewerkt. Let wel, we wijken in dit voorbeeld enigszins af van de in Hoofdstuk 6 beschreven BAU oplossingsrichting. Wel zijn het (net als de BAU oplossingsrichting in Hoofdstuk 6) ook maatregelen die we nu ook al uitvoeren.

Route 1 is een investeringsoplossingsrichting die er vanuit gaat dat de zeespiegel met niet meer dan 1,5 m zal stijgen en de Rijnaflow niet verder dan 18000 m<sup>3</sup>/s zal stijgen en de Maasafvoer niet verder dan 4.600 m<sup>3</sup>/s. In dat geval is er een extra programma Ruimte voor de Rivier nodig voor de Rijn en een extra rivierverruiming in de Maas (IVM2). Ook zijn aanpassingen nodig van de stormvloedkeringen. Ook zijn verhoging nodig van de dijken in het benedenrivierengebied, langs het IJsselmeer en langs delen van de kust. Langs de zandige kust wordt de oplossingsrichting van kustsuppleties voortgezet.

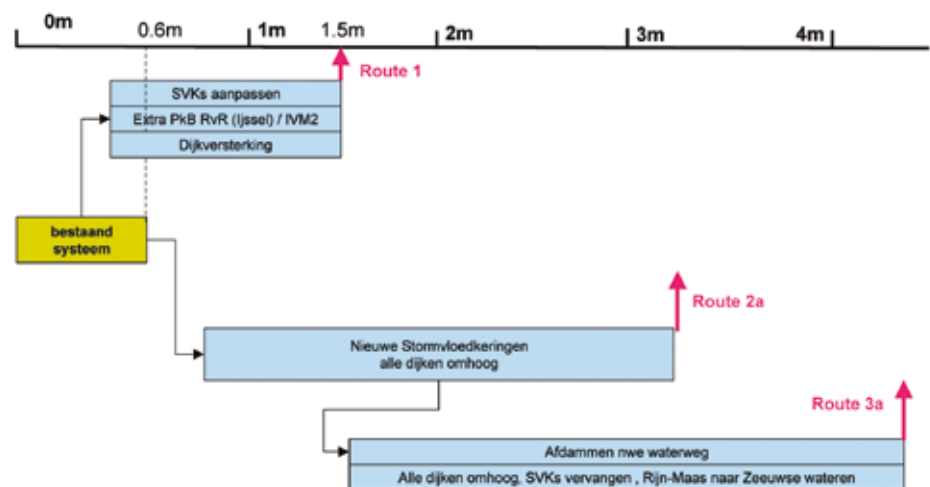
In Route 2a wordt uitgegaan van een maximale zeespiegelstijging van ongeveer 3 m. De afvoer van Rijn en Maas stijgen tot boven de waarden waarmee rekening is gehouden. Hiervoor zijn omvangrijke dijkverhogingen nodig langs de kust, IJsselmeer en het benedenrivierengebied. Door de opdringende zee zijn ook landinwaarts langs de rivieren in toenemende mate dijkverhogingen nodig. Door de grotere rivierafvoeren is nog meer rivierverruiming nodig. De Stormvloedkeringen moeten worden vervangen.

Bij Route 3a wordt ervan uitgegaan dat de maximale zeespiegelstijging ongeveer 5 m zal bedragen. Verkorting en versterking van de kustlijn inclusief volledige afsluiting van de Nieuwe Waterweg biedt een duurzamer perspectief in deze visie. Dijken worden verder verhoogd. De afvoer van Rijn en Maas vindt voor een groot deel plaats via de Zeeuwse wateren. Aanvullend zijn nog grote bergende oppervlakten nodig in het benedenrivierengebied.

159

FIGUUR 9.1

Investeringsopties (route 1, 2a en 3a) met BAU maatregelen met op de horizontale as zeespiegelstijging.



## RO route

In aanvulling op een BAU oplossingsrichting wordt in een RO oplossingsrichting ontwikkeld die is gebaseerd op de oplossingsrichting “Randstad veilig” die staat beschreven in Hoofdstuk 6. Een RO oplossingsrichting kan uit nog veel meer maatregelen bestaan zoals “gedeeltelijk terugtrekken, andere bouwvoorschriften, ophogen, brede en bewoonbare dijken, etc. In dit voorbeeld wordt, om het eenvoudig te houden, alleen ophogen genoemd, en het verbinden van opgehoogde wijken. Figuur 9.2 laat zien wat de mogelijke routes zijn van RO investeringen. Analooq aan de 3 BAU routes 1, 2a en 3a die eerder zijn beschreven worden drie oplossingsrichtingen beschreven die houdbaar zijn tot 1.5, 3 en 5 m zeespiegelstijging. Om voorbereid te zijn op de toekomstige oplossingsrichtingen, flexibiliteit in de keuze van de optimale oplossingsrichting te bewaren en kostbare “retrofit” te voorkomen, wordt de eerste maatregel om de gevolgen te beperken al gelijktijdig uitgevoerd met het op orde brengen van het huidige systeem. Dat is dus in de periode waarin wordt verondersteld dat de zeespiegelstijging niet meer dan 60 cm zal bedragen. Deze maatregel behelst het systematisch ophogen van nieuw aan te leggen woonwijken en industriegebieden tot een overstromingsvrije hoogte van +5 m boven NAP. Hiertoe wordt ophoogzand uit zee gehaald (Aerts et al., 2008).

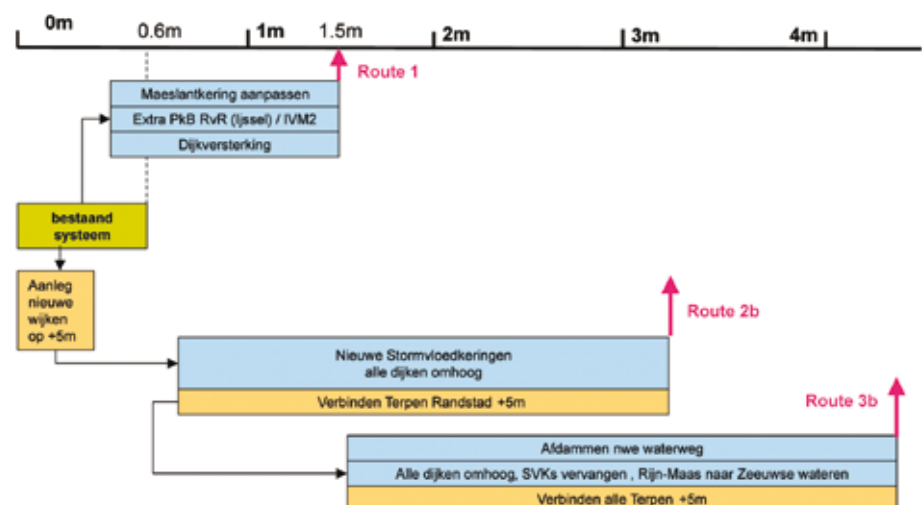
**Route 2b.** Hierin worden behalve de in route 2a voorgestelde maatregelen ook de opgehoogde wijken (zoals eerder uitgevoerd) in de Randstad met elkaar verbonden. Het voordeel hiervan is dat de Randstad volledig gevrijwaard is van overstromingen. Dijken evolueren tot superdijken die deels bebouwd zijn.

**In Route 3b** worden naast de superdijken in de Randstad alle opgehoogde wijken ook buiten de Randstad voor zover relevant met elkaar verbonden, met name de terpen in de omgeving van de Randstad (Noord Holland, delen van Flevoland, Utrecht en Gelderland). Deze superdijken vervangen een aantal bestaande dijkingen.

160

FIGUUR 9.2

Investeringsoptlossingsrichtingen (route 1, 2b en 3b) met een RO component met op de horizontale as zeespiegelstijging.



## Overwegingen

Figuur 91. en 9.2 laten zien dat een bepaald omslagpunt (het punt tot wanneer een route rekening houdt met een bepaalde snelheid van zeespiegelstijging) ervoor kan zorgen dat een nieuwe oplossingsrichting nodig is omdat de ingeschatte risico's sneller toenemen dan ze aanvankelijk waren ingeschat. De vraag is of dat altijd mogelijk is: kan je makkelijk overstappen van de ene naar de andere route zonder al te veel kosten te maken? En, is het technisch nog haalbaar om een overstap te maken?

Een voorbeeld is het ophogen van woonwijken. De komende decennia wordt er nog veel gebouwd in de Randstad. Als je te laat anticipeert dan kunnen nieuwbouwwijken niet meer worden opgehoogd en dus niet meer dienen als basis voor de in routes 2b en 3b voorgestelde RO maatregelen. Routes 2b en 3b vallen in dat geval dus feitelijk af als investeringsoptie.

Als je kijkt naar wat het meest adaptief beleid is ten aanzien van investeringsopties, dan zou je dus zo lang mogelijk rekening moeten houden met verschillende investeringsroutes. Dat betekent dat er op dit moment wellicht al extra investeringen moeten worden gedaan om later de optie open te houden eventueel noodzakelijk investeringen te kunnen uitvoeren. Echter, het risico dat overbodige investeringen gedaan worden moet ook geminimaliseerd worden. Er is dus sprake van een afweging tussen enerzijds opties open houden en anderzijds zo min mogelijk overbodige investeringen plegen. In Sectie 9.3 hieronder wordt hier verder op in gegaan.

## Aansluiten bij afschrijvingstijd bestaande werken

De elementen in bovenstaande schema's omvatten waterbouwkundige werken die voor de kostenbeschouwingen in één keer worden uitgevoerd. Wanneer door een versnelde zeespiegelstijging er noodgedwongen moet worden overgestapt van de ene op de andere route, dan gebeurt dat vaak zo laat mogelijk om zo veel mogelijk rendement te halen uit gedane investeringen (laagste vervroegde afschrijving en laagste contante waarde). Wel kan er eerder een overstap worden overwogen als door technische veroudering van een systeem dit systeem moet worden aangepast of vervangen. Denk bijvoorbeeld aan de discussie in Hoofdstuk 8 over het al dan niet vervangen van de Haringvlietsluizen. Dit kunstwerk heeft een levensduur van ongeveer 100-150 jaar en zal dus op enig moment moeten worden vervangen. Zeespiegelstijging kan dit moment dichterbijbrengen en de vraag is dan of het systeem moet worden vervangen of dat er op een andere route moet worden overgestapt.

## 9.3 Omslagpunten in een economisch perspectief

Zoals hierboven reeds kort beschreven is het vanuit kostenoverwegingen in principe goedkoper om investeringen zo laat mogelijk te plegen: het benodigde geld kan immers in tussentijd op de bank worden gezet en zo rentewinst opleveren. Dit principe kan echter niet zo simpel worden geïnterpreteerd dat het altijd optimaal is om investeringen uit te stellen. Immers, de risico's van onveiligheid nemen ook toe met de tijd, en dus dient een afweging tussen de baten en kosten van uitstel gemaakt te worden. Een bijkomend aspect is dat de maatregelen een lange levensduur hebben: er is meestal sprake van een forse eenmalige investering met een relatief beperkte jaarlijkse onderhoudskosten. Dat betekent dat als de maatregel eerder ongedaan wordt gemaakt of eerder overbodig wordt dan de geplande levensduur, er sprake is van kosten in de vorm van vervroegde afschrijvingen. Deze kosten kunnen fors oplopen, en daarom valt het optimale moment om te investeren meestal gelijk met het moment waarop bestaande infrastructuur toch vervangen moet worden.

Tenslotte dient nog rekening gehouden te worden met de kosten van "retrofitting" als de verkeerde keuze gemaakt blijkt te zijn. Zo is het haast niet voor te stellen dat indien op korte termijn wordt besloten de nieuwbouwwijken niet opgehoogd aan te leggen, deze ophoging achteraf alsnog uitgevoerd zal worden.

Oplossingsrichtingen met een negatieve balans tussen kosten en baten, oftewel met een kosten/baten-ratio van groter dan 1 zouden kunnen afvallen, omdat de kosten van deze oplossingsrichtingen niet te verantwoorden zijn. De oplossingsrichting met de laagste kosten/baten-ratio is in principe degene die de voorkeur verdient. Eventueel kan hiervan nog afgeweken worden als er belangrijke kosten of baten zijn die niet in geld zijn uit te drukken, maar die wel wezenlijk verschillen tussen de verschillende oplossingsrichtingen. Impliciet moet dan een waarde-oordeel geveld worden of de additionele baten van een lager scorende oplossingsrichting waardevoller zijn dan de extra kosten die de oplossingsrichting met zich mee brengt.

In bovenstaand verhaal wordt uitgegaan van eenmalige kosten die gepaard gaan met de investeringen, en een min of meer bekend niveau van zeespiegelstijging. Een belangrijk voordeel van uitstel van de investering wanneer sprake is van onzekerheid is de optiewaarde om beslissingen uit te stellen: alle beslissingen die flexibiliteit openhouden ("irreversibiliteit" vermijden) en ervoor zorgen dat eerst meer kennis vergaard kan worden over het niveau en de snelheid van zeespiegelstijging voordat een beslissing genomen moet worden hebben een positieve optiewaarde, omdat later een betere beslissing genomen kan worden. Daarom wordt vaak eerst gezocht naar "no regret" oplossingsrichtingen, d.w.z. oplossingsrichtingen waarvan de baten sowieso uitstijgen boven de kosten, zelfs als er geen sprake is van zeespiegelstijging.

In het algemeen is het echter onvoldoende om alleen dergelijke "no regret" oplossingsrichtingen uit te kiezen: onzekerheid over de zeespiegelstijging in combinatie met de lange levensduur van de investeringen (en wellicht lange aanlooptijd voordat de investeringen gerealiseerd zijn) vereisen dat voorbereidende maatregelen genomen worden, omdat een zeer snelle aanpassing van het systeem of plotselinge wisseling van oplossingsrichting zeer grote kosten met zich mee brengt, of in sommige gevallen zelf onmogelijk is.

Er zijn verschillende vuistregels te gebruiken om de optimale oplossingsrichting onder onzekerheid te bepalen. De voorkeur voor een oplossingsrichting hangt onder meer af van de mate waarin men risico-avers is. Bij een risico-neutrale voorkeur kan gebruikt worden gemaakt van de verwachte waarde van de kosten en baten: aan elke mogelijk zeespiegelstijgingsscenario wordt een kans gekoppeld, en door de kosten en baten per scenario te vermenigvuldigen met de kans en alle scenarios op te tellen wordt een gewogen gemiddelde berekend, dat de verwachte waarde weergeeft. Vervolgens kan de verwachte kosten/baten-ratio van alle oplossingsrichtingen met elkaar vergeleken worden en de optimale oplossingsrichting gekozen worden.

In geval van risico-averse voorkeuren kunnen beter andere selectiemechanismen gekozen worden. In het extreme geval kan bijvoorbeeld alleen gekeken worden naar de maximale schade/maximale onzekerheid die de oplossingsrichtingen met zich mee brengen en die maximale onzekerheid geminimaliseerd worden (Minimax principe). Ook kan de maximale kosten/baten-ratio geminimaliseerd worden en zijn nog vele andere alternatieven beschikbaar. In het algemeen betekent een risico-averse voorkeur met name dat flexibele oplossingsrichtingen de voorkeur verdienen, en oplossingsrichtingen die de kans op extreme onzekerheid klein houden.

Naarmate de snelheid van zeespiegelstijging groter is, is er minder tijd beschikbaar om van de ene op de andere oplossingsrichting over te stappen. De kosten van overstappen zullen daarom groter worden, met name doordat het noodzakelijk wordt reeds gedane investeringen vervroegd af te schrijven. De keuze van de optimale oplossingsrichting onder onzekerheid wordt hiermee lastiger, omdat de afwegingen tussen de oplossingsrichtingen scherper worden en er minder mogelijkheden zijn voor flexibele keuzes op korte termijn. De principes voor afweging veranderen echter niet: gegeven een te verwachten zeespiegelstijging kan het optimale investeringspad, dus de optimale oplossingsrichting gevonden worden. Door de uitkomsten van verschillende scenario's naast elkaar te zetten kan zo bepaald worden waar de belangrijke omslagpunten liggen. Bijvoorbeeld: als het niveau en de snelheid van zeespiegelstijging beperkt blijven tot x meter per eeuw, dan verdient oplossingsrichting X de voorkeur, bij snellere zeespiegelstijging een combinatie van X voor de eerste decennia met Y voor de lange termijn, en bij een verwachte extreme zeespiegelstijging binnen twee eeuwen moet gekozen worden voor oplossingsrichting Z.

Als de snelheid van zeespiegelstijging de belangrijkste onbekende is dan zou het aan te bevelen zijn om een raamwerk te maken waarin de afweging van de oplossingsrichtingen niet uitgezet wordt in de loop der tijd, maar als functie van snelheid van zeespiegelstijging. Een manier om dit te doen is om de kosten/baten-ratio uit te rekenen voor alle oplossingsrichtingen voor alle mogelijke scenario's (ten aanzien van snelheid van zeespiegelstijging) en vervolgens een functie te schatten over de ontwikkeling van deze ratio als functie van de snelheid van zeespiegelstijging. Deze functie kan dan inzicht geven in belangrijke omslagpunten tussen de verschillende optimale oplossingsrichtingen en zo de te nemen keuzen direct afhankelijk maken van de veronderstellingen over de snelheid van zeespiegelstijging. Doordat de contante waarde van kosten en baten echter altijd een functie van de tijd blijven (vanwege de verdiscontering van toekomstige kosten en baten), is een volledige herformulering als functie van de snelheid van zeespiegelstijging niet mogelijk en blijft de afweging altijd afhankelijk van de tijd.



# Het Discussie Ondersteunend Systeem (DOS)

## 10.1 Doel en context

In de voorgaande hoofdstukken is uitgebreid beschreven welke informatie is verzameld en studies zijn uitgevoerd in het licht van de waterveiligheid in Nederland. De kwantitatieve informatie die uit deze uitgebreide studie is voortgekomen is deels verzameld in een Discussie Ondersteunend Systeem: het DOS AVV. Dit hoofdstuk beschrijft de functionaliteit van een eerste prototype DOS en gaat daarna in op de uitbreidingsmogelijkheden voor het vervolg van AVV.

Het DOS AVV heeft als doel om interactief te verkennen op welke manieren kunnen we in Nederland het risico ten van overstroming en wateroverlast beheersen (rekening houdend met klimaatverandering en andere mogelijke lange termijn ontwikkelingen). Het DOS is een communicatie instrument en in de praktijk betekent dit dat het DOS AVV wordt ingezet tijdens workshops om de discussie met specialisten en beleidsmakers uit het veld van onder andere waterbeheer en ruimtelijke ordening te ondersteunen. Met het DOS kan het effect en de robuustheid van verschillende oplossingsrichtingen en maatregelen op waterveiligheid, wateroverlast en ruimtelijke ontwikkeling op de lange termijn worden bediscussieerd. Het DOS AVV presenteert de variëteit aan gegevens die binnen waterveiligheid, of overstromingsrisico's, een rol spelen in hun samenhang en hoe dat op de lange termijn kan gaan veranderen. In het bijzonder geeft het DOS AVV inzicht in de samenhang tussen waterveiligheid en ruimtelijke ordening. De voor- en nadelen van diverse oplossingoplossingsrichtingen zullen duidelijk worden door met het DOS te 'spelen'.

- **Bovenstaande toepassing brengt de volgende essentiële randvoorwaarden voor het DOS AVV met zich mee:** Simpel en transparant: Het DOS AVV moet eenvoudig, intuïtief, te bedienen zijn, om spelenderwijs inzicht te geven in de samenhang tussen scenario's, oplossingsrichtingen en de effecten ervan. Bovendien moet het duidelijk zijn wat de gegevens waard zijn en hoe deze geïnterpreteerd moeten worden.
- **Snel:** Om interactief te kunnen worden ingezet in een discussie moet het DOS AVV zeer snel nieuwe oplossingsrichtingen en wisselende randvoorwaarden kunnen presenteren.

Technisch gezien zien stellen we als eis aan het DOS AVV dat het zodanig generiek wordt opgezet dat het eenvoudig is uit te breiden met nieuwe of andere scenario's en veiligheidsperspectieven, kwetsbaarheidsindicatoren en evaluatiemethoden. En dat resultaten van gangbare modellen en instrumenten door het DOS AVV kunnen worden ingelezen en weergegeven. Met andere woorden, in het DOS wordt niets uitgerekend maar er worden resultaten van bestaande modelberekeningen bijeengebracht en op een gestructureerde manier gepresenteerd.



De eisen en randvoorwaarden die aan het DOS AVV worden gesteld sluiten naadloos aan bij het prototype van de DOS WV21, zoals ontwikkeld in het kader van het project WaterVeiligheid 21e Eeuw. De database van beide systemen is identiek. Alleen de interface is verschillend.

## 10.2 Het DOS AVV op hoofdlijnen

De hoofdstructuur van het DOS AVV wordt duidelijk in het openingsscherm, waarin vijf 'hoofdstukken' (Figuur 10.1) staan vermeld waaruit de gebruiker kan kiezen en waarin voortdurend heen en weer gegaan kan worden:

- **Introductie van het DOS AVV:** Een korte uitleg van het doel en de werking van het DOS AVV. Hier wordt geïllustreerd op welke manier de gebruiker op een logische manier door de aangeboden informatie heen kan gaan. Of: Hoe de gebruiker het DOS op een logische manier kan doorlopen?
- **De uitdaging van een veilig Nederland:** Een beknopte toelichting op de uitdaging waar we voor staan om Nederland leefbaar te houden in de komende eeuwen, met een veranderend klimaat en veranderende economische en demografische omstandigheden. Daarnaast de mogelijkheid om als gebruiker expliciet en kwantitatief aan te geven wat verstaan wordt onder 'waterveiligheid'.
- **Toekomstbeeld bepalen:** Een combinatie van kaarten van Nederland en keuzemogelijkheden voor toekomstscenario's en oplossingsrichtingen. In de kaarten wordt met kleuren aangegeven wat de situatie in overstromingskansen en gevolgen is bij de gemaakte selectie.
- **Toekomstbeelden vergelijken:** Diverse manieren om verschillende toekomstbeelden onderling te vergelijken en evalueren, bijvoorbeeld op investeringen en omslagpunten.
- **Achtergrond informatie:** Een bundeling van informatie in teksten, illustraties en eventueel documenten die buiten de interactieve sessie om geraadpleegd kunnen worden.

166

**FIGUUR 10.1**

Illustratie van het openingsscherm van het DOS AVV, met de vijf genoemde 'hoofdstukken'.



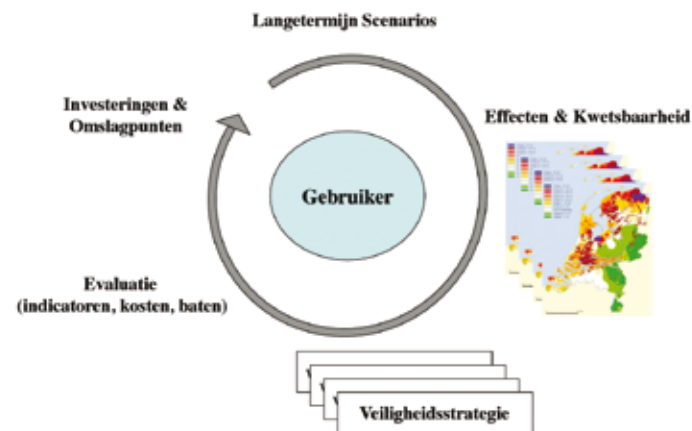
## Een gebruikerssessie

Ter illustratie van het gebruik van het DOS AVV geven we een mogelijke gebruikerssessie in vijf stappen, zoals gevisualiseerd in onderstaand schema (Figuur 10.2):

- Nederland op de lange termijn: de gebruiker maakt een keuze in mogelijk trends op het gebied van sociaal economische- en klimaatveranderingen. Een scenario is een combinatie van de door de gebruiker geselecteerde klimatologische en sociaal-economische ontwikkelingsrichtingen.
- Effecten onder Nul referentie: De gebruiker ziet de effecten van de gekozen scenario's op aspecten van waterveiligheid zonder dat er aanvullende maatregelen worden genomen. Dit wordt weergegeven in kaarten van Nederland.
- Oplossingsrichtingen: De gebruiker kiest uit een set van maatregelen een selectie van een aantal logisch samenhangende maatregelen. Deze logische combinatie van maatregelen is een oplossingsrichting.
- Robuustheid van een oplossingsrichting: In een effectentabel en kaarten wordt de robuustheid van verschillende oplossingsrichtingen inzichtelijk gemaakt. Deze tabel geeft naast de eerder genoemde indicatoren ook inzicht in de kosten van de gekozen oplossingsrichtingen.
- Investeringsmomenten: met deze methode kunnen zogenaamde omslagpunten worden bepaald. Door deze punten te bepalen kan binnen een oplossingsrichting worden bepaald wanneer een maatregel moet worden ingezet

**FIGUUR 10.2**

Iteratief stappenproces van een gebruikers sessie binnen het DOS AVV.



Met het DOS AVV willen we bewerkstelligen dat gebruikers worden uitgedaagd om zelf verder te 'spelen' met de beschikbare informatie. Zo krijgt de gebruiker spelenderwijs inzicht in en gevoel voor de materie. Als extra spelelement heeft de gebruiker de mogelijkheid om expliciet aan te geven wat hij of zij verstaat onder 'veiligheid'. Veiligheid is in het DOS uit te drukken in termen van kansen op een overstroming, maximale potentiële schade, maximaal economisch risico en/of maximaal slachtofferrisico. Op diverse manieren krijgt de gebruiker vervolgens informatie in hoeverre deze maat voor veiligheid wordt gehaald met de gekozen combinatie van toekomstscenario en oplossingsoplossingsrichting.

## Schaalniveau DOS AVV

Het accent in AVV ligt op de verre toekomst, dus om 'plannen in grote lijnen' met de nodige onzekerheid.

De ruimtelijke schaal waarin informatie in het DOS AVV wordt gepresenteerd is hierop aangepast. De kleinste schaaleenheid in het DOS is het niveau van dijkringen. Ook kan gekozen worden voor het aggregatieniveau van bijvoorbeeld het bovenrivierengebied of voor Nederland als geheel.

De afzonderlijke maatregelen die uiteindelijk in het DOS komen zijn (ook) van toepassing op kleinere schaal. Een voorbeeld hiervan is 'stedelijk gebied ophogen'. De evaluatie van een combinatie van dergelijke maatregelen is weer op dijkringniveau. Daarmee is het DOS AVV niet bedoeld, noch geschikt, voor detailstudies.

## Database en basisgegevens

De kwantitatieve informatie in het DOS AVV omvat een groot aantal gegevens. Voor elke combinatie van toekomstscenario, zichtjaar en oplossingsrichting is voor tal van indicatoren een waarde nodig, vaak per dijkkring. Deze gegevens zijn gebaseerd op bestaande modelberekeningen en/of expert judgement.

## 10.3 Wat ons staat te wachten als we Nul referentie kiezen

De eerste stap in een mogelijke gebruikerssessie is een analyse van wat ons als land in de toekomst te wachten staat in termen van waterveiligheid en ruimtelijke ordening als we vanaf 2015, het referentiejaar, niets meer doen. Met 'Nul referentie' bedoelen we géén aanvullende investeringen zoals dijken ophogen, nieuwe waterkeringen en géén maatregelen om potentiële gevolgen van een overstroming te reduceren. Dat dit een irreële optie is voor een land als Nederland zal duidelijk zijn. Tegelijkertijd is dit een effectieve analyse om duidelijk te maken voor welke uitdaging we staan in de adaptatie van Nederland aan de verwachte klimaatveranderingen en veranderingen in economie en bevolkingsomvang. Bovendien dient de optie "Nul referentie" als referentie voor de evaluatie van nieuwe oplossingsrichtingen.

In het DOS AVV komt de hypothetische optie om geen maatregelen meer te treffen terug als de 'Nul referentie'-variant. Onder de Nul referentie-variant nemen zowel de overstromingskansen als het overstromingsrisico toe.

Beschikbare elementen uit het DOS AVV

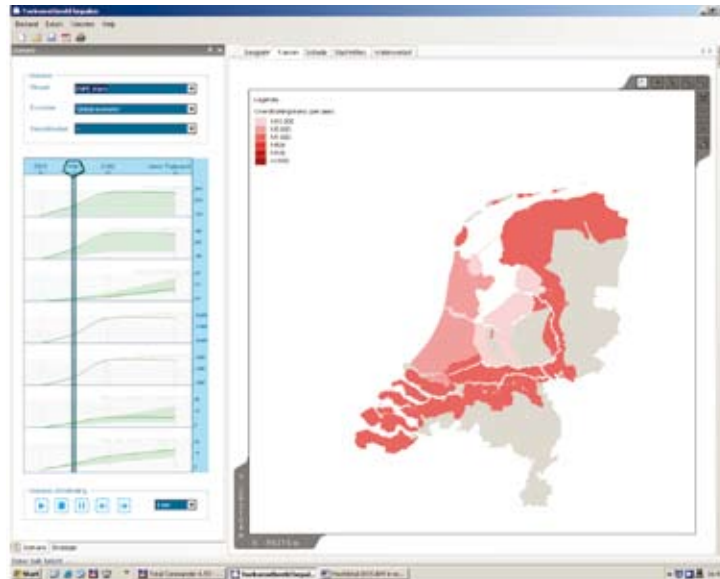
De elementen in het DOS AVV waar een gebruiker in deze eerste analysestap gebruik van maakt zijn de volgende:

- De keuze uit een aantal zichtjaren;
- De keuze uit diverse toekomstscenario's;
- De indicatoren die de verwachte situatie karakteriseren.

We bespreken nu hoe elk van deze elementen in het DOS beschikbaar zijn en de uitbreidingsmogelijkheden in het vervolg van AVV. Screenshot van het prototype visualiseren het betreffende onderdeel van het DOS. Een uitgebreide beschrijving van de inhoudelijke aspecten (zoals oplossingsrichtingen en effecten) zijn elders in dit rapport gegeven. Hier concentreren we ons op de manier waarop de elementen in het DOS tot uiting komen (Figuur 10.3).

**FIGUUR 10.3**

Illustratie van het onderdeel van het DOS AVV waarin toekomstbeelden worden samengesteld uit zichtjaren (schuif links), toekomstscenario's (linksboven) en indicatoren (tabbladen rechts met kaarten).



## Zichtjaren

Het referentiejaar voor alle effectbepalingen in AVV is het jaar 2015. Dit jaar staat symbool voor het moment waarop Nederland wat betreft waterveiligheid op orde is volgens de nu geldende normen. Dan zijn de tot nu toe gesignaleerde zwakke plekken in de waterkeringen verbeterd en is bovendien het rivierverruimings-programma Ruimte voor de Rivier voltooid. We gaan er dus vanuit dat in 2015 elke dijkkring minimaal voldoet aan de veiligheidsnorm. Sommige dijktrajecten zijn, vergeleken met de norm, overgedimensioneerd.

De zichtjaren waarvoor een gebruiker van het DOS AVV de effecten van een veranderend klimaat en veranderende socio-economische omstandigheden kan analyseren zijn de volgende:

- 2040 – Dit jaartal is gekozen om aan te sluiten bij de WLO scenario's;
- 2100 – Dit jaartal is gekozen als ijkpunt voor het meten van effecten over een periode van ongeveer een eeuw;
- Verre toekomst – Hier is geen specifiek jaartal gekozen. De verre toekomst is van belang om de effecten van extreme zeespiegelstijging te kunnen analyseren (socio-economische ontwikkelingen worden gelijk verondersteld aan de situatie in het jaar 2100).

De gebruiker selecteert een zichtjaar door de verticale lijn links in het scherm te verslepen. Daarmee passen de gegevens in de kaarten rechts in het scherm zich direct aan aan het gekozen zichtjaar.

## Toekomstscenario's

In het DOS keuzemenu wordt een onderscheid gemaakt in socio-economische scenario's en klimaatscenario's. In de vervolgfase van AVV worden hier mogelijk bestuurlijke trends aan toe gevoegd en wordt bekeken hoe 'discontinuïteiten' in de scenario's kunnen worden opgenomen (zie ook Hoofdstuk 2).

In het prototype maakt de gebruiker een keuze uit de volgende opties (Hoofdstuk 2):

- Een klimaatscenario, waarin voor nu uitsluitend de zeespiegelstijging in beschouwing is genomen:
  - o KNMI Gematigd: 60 cm/eeuw
  - o KNMI Warm: 80 cm/eeuw
  - o Snel veranderend: 150 cm/eeuw
- Een socio-economisch scenario, i.e. een van de WLO-scenarios':
  - o Global economy (GE)
  - o Regional communities (RC)

De gebruiker selecteert een combinatie van scenario's uit de beschikbare keuzemenu's linksboven in het scherm (zie Figuur 10.3). De grafieken onder de zichtjaren visualiseren hoe de geselecteerde scenario's (de doorgetrokken lijnen) zich verhouden tot de range over alle beschikbare scenario's (het lichtgekleurde vlak).

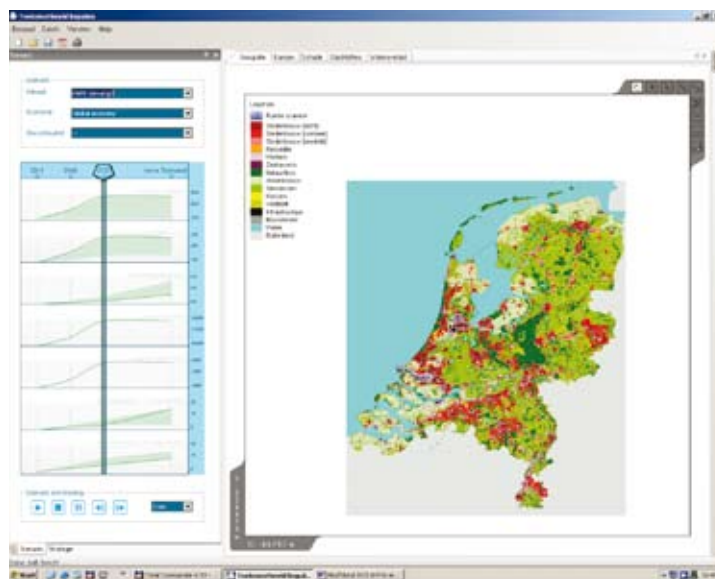
## Indicatoren

De invloed van de gekozen scenario's in het gekozen zichtjaar wordt in het DOS gekarakteriseerd met behulp van de volgende indicatoren:

- Ruimtegebruik van verschillende typen landgebruik in ha
- Kans op overstroomingen per jaar
- Potentiële schade in euro's (dijkdoorbraak)
- Mate van wateroverlast in mm/dag
- Potentieel aantal slachtoffers
- Risico (kans \* schade)

**FIGUUR 10.4**

Illustratie van een ruimtegebruikkaart. Dit betreft een rechtstreeks resultaat uit de Ruimtescanner.



Deze indicatoren worden allemaal gevisualiseerd met behulp van kaartjes van Nederland, waarin met behulp van kleuren de waarden van elke indicator wordt weergegeven. Behalve het ruimtegebruik, waarvoor een specifieke kaart uit de Ruimtescanner wordt gebruikt, en de kaarten over het wateroverlast, zijn alle indicatoren berekend en getoond per dijkkring. Door het gewenste tabblad te selecteren verschijnt het kaartje met de gevraagde indicator. Onderstaande Figuur 10.4 is een voorbeeld van een mogelijke ruimtegebruikkaart.

Naast de kaarten bevat het DOS ook een tabel met daarin een getalsmatige samenvatting van de effecten. Deze staat in het onderdeel Toekomstbeelden vergelijken en wordt in de volgende paragraaf meer uitgebreid beschreven.

## 10.4 Oplossingsrichtingen

In de vorige paragraaf beschreven we hoe door middel van het DOS AVV geanalyseerd kan worden wat ons te wachten staat als we na 2015 niets meer doen om de waterveiligheid van Nederland te verbeteren. De volgende vraag die bij de gebruiker zal opkomen is welke oplossingsrichtingen denkbaar zijn om overstromingsrisico's blijvend te beheersen. Het DOS AVV biedt de mogelijkheid om deze vraag op een systematische manier te verkennen.

Het huidige prototype biedt twee alternatieven in de vorm van twee uitgewerkte oplossingsrichtingen: Business as Usual (BAU) en Nederland Omhoog. Aan de hand van deze oplossingsrichtingen illustreert het prototype op welke manier een verder uitgewerkt DOS het mogelijk maakt om oplossingsrichtingen te analyseren. In het vervolg van deze paragraaf lichten we toe hoe deze functionaliteit verder kan worden uitgebreid.

## Selectie oplossingsrichtingen

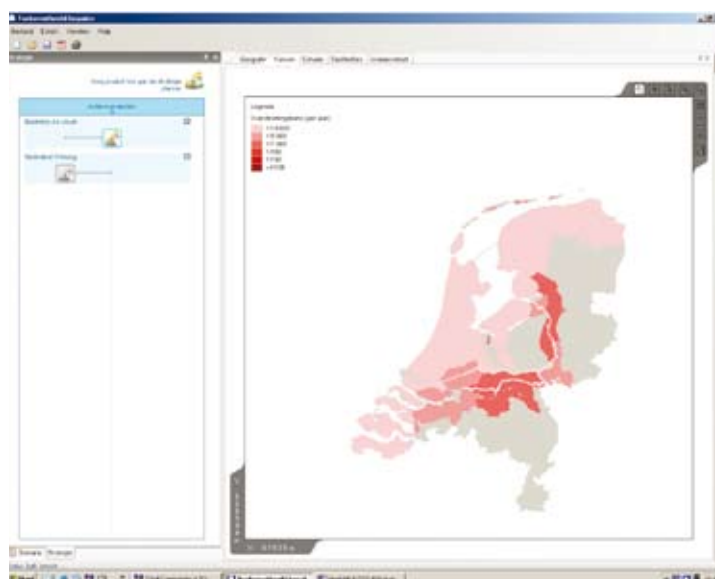
Het idee voor een uiteindelijk DOS AVV is, dat de gebruiker een selectie kan maken uit een lijst maatregelen die op betrekkelijk klein schaalniveau kunnen worden ingezet. Mogelijke voorbeelden zijn verdere verhoging en verzwaring van dijken, ophogen van stedelijk gebied, plaatsen van eilanden voor de kust, wegtrekken uit laaggelegen gebieden, etc. Een combinatie van maatregelen kan dan worden samengevat in een oplossingsrichting (Figuur 10.5).

In het nu beschikbare prototype zijn ter illustratie van deze functionaliteit twee complete oplossingsrichtingen beschikbaar. In dit geval is dus, als het ware, bij voorbaat bepaald uit welke afzonderlijke maatregelen elke oplossingsrichting is opgebouwd. Voor een beschrijving hiervan verwijzen we naar een eerder Hoofdstuk 6 in dit rapport.

In dit prototype is de selectie van een van de twee beschikbare oplossingsrichtingen betrekkelijk eenvoudig geïmplementeerd (zie onderstaand figuur). Via het tabblad 'Oplossingsrichting' selecteert de gebruiker al dan niet één van de twee oplossingsrichtingen. Direct daarop passen de kleuren in de kaarten zich aan, waarmee direct het effect van de gekozen oplossingsrichting beschikbaar is middels de verschillende indicatoren. Deze gegevens gelden nog steeds voor de eerder geselecteerde toekomstscenario's en het zichtjaar. De gebruiker is vrij om in willekeurige volgorde scenario's, zichtjaren en oplossingsrichtingen te selecteren.

**FIGUUR 10.5**

Illustratie van de manier waarop een oplossingsrichting kan worden geselecteerd (links) met bijbehorend effect (rechts). Het geselecteerde zichtjaar en toekomstscenario staat in tabblad 'Scenario's' (links) en is nu niet zichtbaar.



## Analyse en onderlinge vergelijking van effecten

Het doel van een oplossingsrichting is het blijvend voldoen aan een gestelde mate van veiligheid. Deze 'mate van veiligheid' is door de gebruiker gedefinieerd. De effectiviteit van de oplossingsrichtingen wordt gemeten met behulp van de eerder genoemde indicatoren, aangevuld met de totale investeringskosten van elke oplossingsrichting.

Het DOS beschrijft dus de waterveiligheid van Nederland door een toekomstscenario voor een bepaald zichtjaar te combineren met een oplossingsrichting. Hiervoor zijn zeer veel combinaties te selecteren die door het DOS worden aangeboden. Voor elke combinatie is na te gaan wat de effectiviteit is in termen van de indicatoren voor waterveiligheid. Verder zal de gebruiker de behoefte krijgen om diverse combinaties van oplossingsrichtingen en scenario's onderling te vergelijken. Daarvoor biedt het DOS AVV de mogelijkheid via het onderdeel 'Toekomstbeelden vergelijken'. Het prototype DOS AVV biedt twee manieren om onderlinge vergelijkingen te maken:

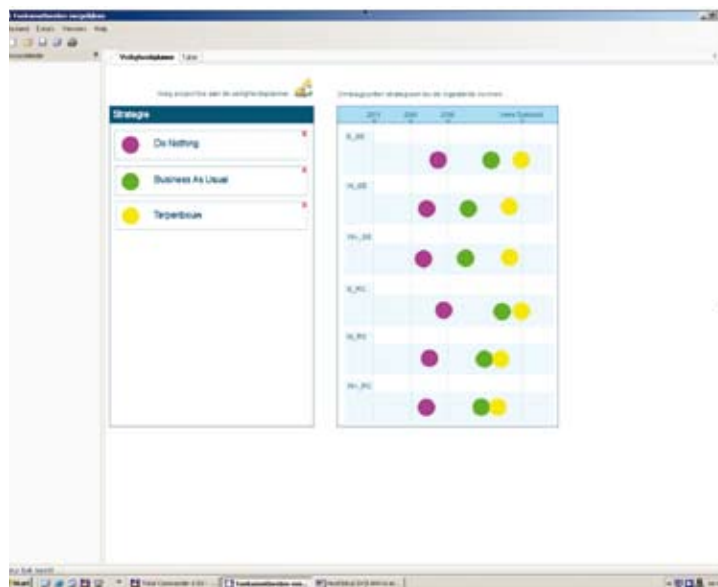
- Een overzichtstabel met voor elke oplossingsrichting de getalsmatige effecten, en
- Een grafiek met omslagpunten, i.e. tijdstippen waarop niet meer aan de gestelde veiligheidsnorm wordt voldaan (Figuur 10.6).

In het vervolg van AVV, en daarmee de bouw van een echt DOS AVV, zijn tal van varianten op deze twee opties denkbaar. Bovendien zullen beide manieren van presenteren flexibeler worden gemaakt met het oog op het grotere aantal oplossingsrichtingen dat dan beschikbaar zal komen.

173

**FIGUUR 10.6**

Illustratie van een grafiek met omslagpunten. Elk gekleurd punt staat voor een moment in de toekomst (horizontale as) waarop de gestelde veiligheidsnormen niet meer worden gehaald. Voor elk beschikbaar toekomstscenario zijn de omslagpunten in de grafiek gegeven (bv G\_GE: Klimaatscenario 'Gematigd' met Socio-economisch scenario 'Global Economy').





## 10.5 Aanbevelingen voor het vervolg

Tot nu worden de oplossingsrichtingen op een discreet moment in de tijd geëvalueerd onder een bepaald scenario. De manier waarop de oplossingsrichtingen tot stand zijn gekomen doet niet ter zake. Hoewel deze analyse een globaal beeld geeft van de robuustheid van de oplossingsrichtingen is de vraag wanneer (dus op welk tijdstip) bepaalde maatregelen het beste kunnen worden ingezet. Aan de ene kant is dit een kwestie van nauwkeurig inschatten van de kosten en het verdisconteren in de tijd van deze kosten. Aan de andere kant is er de onzekerheid van met name de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt; een snellere stijging kan immers aanleiding geven om geplande investeringen eerder uit te voeren. Om een inzicht te krijgen wanneer investeringen het meest effectief zijn in de tijd wordt voorgesteld een glijdende schaal te gebruiken van zeespiegelstijging waarlangs maatregelen worden gelegd. Zo kan de gebruiker in eerste instantie kunnen uitgaan van een zeespiegelstijging van 0.8 m per eeuw en vervolgens een aantal maatregelen in zetten. Vervolgens kan ervoor gekozen worden voor een snellere zeespiegelstijging van bijvoorbeeld 1.5 m per eeuw. In dat geval ligt het jaartal 2050 bij de +0.75 m. Door te spelen met de snelheid waarbij de zeespiegel kan stijgen, kan inzicht worden verkregen in de houdbaarheid van gekozen maatregelen en oplossingsrichtingen. Het schema dwingt na te denken over het nu al anticiperen op mogelijke vervroegde investeringen in de toekomst of zelfs het verlaten van een bepaalde oplossingsrichting en het daarmee overstappen op een nieuwe oplossingsrichting. Een voorbeeld hiervan is het nu al reserveren van ruimte voor maatregelen in de toekomst, of het technisch verouderd raken van kunstwerken waarbij verbeteringen niet langer mogelijk zijn en vervanging de enig resterende optie is.

In het prototype worden momenteel nog maar 1 à 2 type maatregelen meegenomen. In de volgende versie van het DOS AVV willen we bijvoorbeeld ook laten zien hoe bij verschillende waarden zeespiegelstijging op welk moment de grote kunstwerken (Afsluitdijk, Oosterscheldedam, Maeslantkering) moeten worden aangepast dan wel moeten worden vervangen.

# Literatuurlijst

Aerts, J., Dellink, R., Affolter, F., Bannink, B., Meulen, van der M., Oosterveld, E., Schuurman, H., Braakhekke, W., van Winden, A. (2008a) Uitwerking Oplossingsrichting "Nederland Omhoog". Achtergrond document voor het Project Aandacht Voor Veiligheid. Versie April 2008.

Aerts, J., Walraven, A., Veraart, J., van 't Klooster, S., Bannink, B. (2008b). Klimaat en Waterveiligheid in beleid. Hoe worden lange termijn ontwikkelingen meegenomen in het huidige strategisch waterbeleid en het beleid voor de ruimtelijke ordening? Studie in het Kader van het project Aandacht voor veiligheid. [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl) → AVV

Aerts, J en Anne Walraven (2008) Perspectieven voor Nederland. Achtergrondstudie in het kader van het project 'Aandacht voor Veiligheid'. [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl) → AVV

Aerts, J., Bas Kolen, Herman van de Most, Matthijs Kok, Susan van 't Klooster, Bert Satijn en Aalt Leusink (2007) 'Waterveiligheid en klimaatbestendigheid in breder perspectief' Brugdocument in het kader van Routeplanner 3 van het ARK programma. <http://www.programmaark.nl/achtergrond/37887.aspx>

Aerts, J. en P. Droogers (2004). Climate Change in Contrasting River Basins – Adaptation for Water, Food and the Environment. CABI, Wallingford, UK. pp 261

Aerts, J. (2002) Spatial decision support for resource allocation. Integration of optimization, uncertainty analysis and visualization, PhD thesis, University of Amsterdam.

AG (2007). De Rijn kent geen grenzen. <http://www.hochwasser.de/downloads/Der%20Rhein%20kennt%20keine%20Grenzen.pdf>

Agri Holland (2001) <http://www.agriholland.nl/dossiers/landbouwgrond/dosnieuws.html>

AJRM (2007). Tokyo Metropolitan area and the Arakawa river basin. Arakawa Joryu River Management Office <http://www2.arajo.ktr.mlit.go.jp/english/eng-pamph/22-23.html>

Arcadis (2004) Invloed Waterstandsverhoging op Kosten Dijkversterking-Maas Rijkswaterstaat Riza 29 november 2004

Arcadis (2006) Kostenfuncties Dijkkringgebieden 7, 14 en 29. Rijkswaterstaat Dienst Weg en Waterbouw, Rijkswaterstaat Riza, 28 november 2006.

Archined (2002) <http://www.classic.archined.nl/news/0202/remkes.html>

Van Asselt, M.B.A., Rotmans, J., and Rothman, D.S. (2005). Scenario innovation: Experiences from a European Experimental Garden, London, UK: Taylor and Francis.

AW (2006) Advies Veiligheid tegen overstromen. Advies Commissie Water  
[http://www.adviescommissiewater.nl/adviescommissiewater/images/103%20advies%20veiligheid%20FINAL\\_tcm203-166662.pdf](http://www.adviescommissiewater.nl/adviescommissiewater/images/103%20advies%20veiligheid%20FINAL_tcm203-166662.pdf)

Bannink, B.A. (2004) Richting aan Inspiratie De thema's van 'WaterINN'novatiebron.  
<http://www.waterinnovatiebron.nl/data/docs/lib/1-1105612073.zip>

Bemmel, E. (2008) De verandering van de overstromingsrisico's en de veerkracht van de onbedijkte Maas in de tijd. PhD studie TU Delft. <http://www.citg.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=a54ed81f-b20c-4746-b0ad-b6b267d58be9&lang=nl>

Bintanja, R., R.S.W. Van de Wal, & J. Oerlemans, 2002. Global ice volume variations through the last glacial cycle simulated by a 3-D ice-dynamical model. *Quaternary international* 95-96, 11-23.

Bolt, van der F.J.E. en Kok, M. (2000). Hoogwaternormering regionale watersystemen. Schademodellering. Opdracht Csie Wb21. HKV Lijn in Water PR326.

Boorsma, K. (1996) Plan Boorsma 1996. Lint van eilanden voor de kust ingezonden als idee voor de uitbreiding van de Haven Rotterdam. Ook gepubliceerd in VN op 5 december 1998.

Boorsma, K. (2005) Plan Boorsma. Westerschelde-ontwikkeling, Open stormvloedkering. [http://kreeft.zeeland.nl/zeesterdoc/ZPS-O/ZEE/ZEE0/5011/501147\\_1.pdf](http://kreeft.zeeland.nl/zeesterdoc/ZPS-O/ZEE/ZEE0/5011/501147_1.pdf)

Boorsma, K. (2007) Een waterbouwkundig Deltaplan voor de 21ste eeuw. Een toekomstvisie voor Nederland. Ingenieursbureau Boorsma (2007).

Borsboom-van Beurden, J., Koomen, E., Riedijk, A. en Wilgenburg, R. van (2007). Integrated scenarios of socio-economic and climate change. Vrije Universiteit en MNP, Amsterdam

Bos (2001). De Nieuwe Hollandse Zeelinie. Een grote sprong voorwaarts: naar een strategische kustuitbreiding.  
[http://home.planet.nl/~bosvariant/projecten/nieuwe\\_hollandse\\_zeelinie.htm](http://home.planet.nl/~bosvariant/projecten/nieuwe_hollandse_zeelinie.htm)

Botzen, W, Aerts, J, van de Bergh, J (2008) Willingness to pay for Flood insurance. BSIk KvR Report, project A7 (in press).

Bouwer, L.M., Huitema, D., Aerts, J.C.J.H. 2007. Adaptive flood management: the role for insurance and compensation in Europe. IVM report, W-07/08, EU NEWATER project

Brink, H. van den. (2005) Extreme winds and sea-surges in climate models. Thesis KNMI, De Bilt, Netherlands, 2005. 1 ed. 115 p. illustr. large 8vo. English, Dutch

Bruin, de D., Hamhuis, D., Nieuwenhuize, L. van., Overmars, W., Sijmons, D., Vera, F.(1987) Ooievaar. De toekomst van het rivierengebied. Stichting Gelderse milieufederatie, Arnhem 1987.

De Bruijn, K.M. (2007). Risky places in the Netherlands: a first approximation for floods. Deltares / Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

Bruijn, K. de (2008) Bepalen van schade ten gevolge van overstromingen voor verschillende scenario's en bij verschillende beleidsopties

CNN (2007). <http://edition.cnn.com/2007/US/03/01/katrina.claim/index.html>

Commissie Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw. (2000) Waterbeleid voor de 21<sup>e</sup> eeuw.

Comcoast (2007) COMbined functions in COASTal defence zones.  
<http://www.comcoast.org/>

CPB et al. (2006). Welvaart en leefomgeving. Een scenariostudie voor Nederland in 2040. L.H.J.M. Janssen, V.R. Okker, J. Schuur. Centraal Planbureau, Milieu- en Natuurplanbureau, Ruimtelijk Planbureau.  
[http://www.rpb.nl/upload/documenten/WLO\\_hoofddocument.pdf](http://www.rpb.nl/upload/documenten/WLO_hoofddocument.pdf)

CU (2008) Energie uit water voor heel Flevoland <http://www.christenunie.nl/nl/k/7347/news/view/111298/49897/Energie-uit-water-voor-heel-Flevoland.html>

Delta Inzicht (2003) een integrale visie op de Deltawateren.  
[http://www.delta-wateren.nl/phpimg/rapporten\\_2\\_0a\\_Delta\\_inZicht.pdf](http://www.delta-wateren.nl/phpimg/rapporten_2_0a_Delta_inZicht.pdf)

Delta Inzicht (2008). Perspectief voor ruimtelijke ordening Randstad op lange termijn. Project Delta In Zicht. H2O, Februari 2008.

DHV (2005). Innovative concept for an over topping dike. Proposal to comcoast.  
<http://www.comcoast>

DHV (2006). Memo ontwikkeling veiligheidsvarianten ONtwiie [http://extranet.zeeland.nl/topics/extranet/zwakkeschakels/projectgroep\\_zeeuwsvlaand/documenten/wg\\_se20060683\\_memo\\_aandachtspunten\\_bij\\_ontwerp.doc](http://extranet.zeeland.nl/topics/extranet/zwakkeschakels/projectgroep_zeeuwsvlaand/documenten/wg_se20060683_memo_aandachtspunten_bij_ontwerp.doc)

Van der Doef M., Cappendijk P. (2006) Veiligheid Nederland in Kaart – modellering en analyse van evacuatie, report DWW-2006-007.

Dura Vermeer (2008) <http://www.drijvendekas.nl/>

DWW (2003). Schade na een grootschalige overstroming. Rapport DWW-2003-05. Delft, Nederland.

DWW (2005). Flood risks and Safety in The Netherlands (Floris). Interim report. Ministry of Transport, Public works and Water Management. No. DWW-2006-13, DWW, The Hague, The Netherlands.

EA (2007) Thames Estuary 2100 project. Enviromental Agency UK.  
[http://www.thamesweb.com/page.php?page\\_id=60&topic\\_id=9](http://www.thamesweb.com/page.php?page_id=60&topic_id=9)

ED (2008). <http://www.europadecentraal.nl/menu/541/Hoogwaterrichtlijn.html>

EU (2007) <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:01:NL:HTML>

EZ (2004). Nota Pieken in de Delta. <http://appz.ez.nl/publicaties/pdfs/04I21.pdf>

Findeisen, W. and Quade, E. S., 1985. The methodology of systems analysis: An introduction and overview. In: Handbook of systems analysis: Overview of uses, procedures, applications, and practice. Miser, Hugh J. and Quade, Edward S. (eds.), pp. 117-150.

Goemans, T., Smits, H. N. J. Smits ]1984) Kostenbeheersing van een megaproject: de Oosterscheldewerken In: ESB, 24 oktober 1984.

Goosen, H. R. Lasage, M Hisschemöller, N van der Grijp, Praktijkervaringen met meervoudig ruimtegebruik binnen watergerelateerde projecten, Lelystad (RIZA) 2002

Grot, S. (2006). <http://www.falw.vu.nl/Nieuws/>

Haak, van den R., en Stokman, P.G. (2007). De Haakse Zeeijk. mhtml:[http://www.haaksezeedijk.nl/dehaaksezeedijk.mht!dehaaksezeedijk\\_bestanden/frame.htm](http://www.haaksezeedijk.nl/dehaaksezeedijk.mht!dehaaksezeedijk_bestanden/frame.htm)

HKV (2005). Extreme neerslag en de afwatering van Fryslan. [http://www.hkv.nl/documenten/ExtremeNeerslagAfwateringFriesland\\_MK\\_IL.pdf](http://www.hkv.nl/documenten/ExtremeNeerslagAfwateringFriesland_MK_IL.pdf)

HKV (2008) <http://www.hkv.nl/Page.asp?id=244121&pid=3430&mid=4162>

Hoeven, N. van der , Chris Jacobs, Eric Koomen, Jeroen Aerts (2008). Beschrijving van sociaal-economische scenario's voor het jaar 2100. project Aandacht voor veiligheid. [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl) → AVV

Hilderink, H.B.M. (2004) Populations and Scenarios: Worlds to Win? RIVM report 550012001/2004. RIVM

Huitema D., Goosen H., Hemert P. van., Bos L., Hoekstra R., (2003). Functies combineren met water. Amsterdam: IVM.

Hydrologic (2006). Landelijk beeld NBW toetsing. <http://www.hydrologic.nl/projecten/NBWlandelijkeKaart.htm>

Immerzeel, W. en Droogers, P. (2008). Klimaatverandering en lokale wateroverlast ten gevolge van extreme neerslag in Nederland. Studie in het kader van het project Aandacht voor Veiligheid. FutureWater Report No. 73.

Insure (2008) <http://www.insure.com/articles/homeinsurance/hurricane-strike.html>

IPCC (2000) Emission Scenarios. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press

IPCC (2001) Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability  
[http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/wg2/index.htm](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2/index.htm)

IPCC (2007) Working Group II Report "Impacts, Adaptation and Vulnerability".  
<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2>.

IVM (2007) Neo-Atlantis: The Netherlands under a five-metre sea level rise.  
 Xander Olsthoorn, Peter van der Werff, Laurens M. Bouwer and Dave Huitema.

Jacobs, Ch en Koomen, E. (2008) Globale ruimtelijke evaluatie van oplossingsrichtingen.  
 Achtergrond rapport voor de studie Aandacht voor Veiligheid. April 2008.  
[www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl) → AVV

Jenkinson, A.F., 1955. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society 87, pp. 145–158.

Jong, A.H.de en Hilderink, H.B.M. (2004a) Lange-termijn bevolkingsscenario's voor Nederland. RIVM (ed.). Bilthoven.

Jonkman S.N., Gelder P.H.A.J.M. van, Vrijling J.K. (2003) An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage, Journal of Hazardous Materials. A99, pp.1–30

Jonkman S.N., Cappendijk P. (2006) Veiligheid Nederland in Kaart – schatting van het aantal slachtoffers ten gevolge van overstroming, DWW report DWW-2006-012

Jonkman S.N. (2007) Loss of life estimation in flood risk assessment, theory and applications, PhD Thesis, Delft University of Technology

Kerkhof, M van de , Tjeerd Stam, Jeroen Aerts, Susan van 't Klooster en Anne Walraven Een backcasting analyse van een klimaatbestendig en waterveilig Nederland Werkdocument van het project Aandacht voor Veiligheid (AVV). [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl)

Klis, H., Van der, Baan, P. & Asselman, N. (2005). Historische analyse van de gevolgen van overstromingen in Nederland. Een globale schatting van de situatie rond 1950, 1975 en 2005. WL rapport Q4005.11, WL | Delft Hydraulics, Delft.

Klooster, Susan van 't, Corinne Cornelisse, Jeroen Aerts, Dave Huitema (2007a). Verslag van de workshop 'Veerkracht van Waterinstituten onder Klimaatverandering'. [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl)

Klooster, Susan van 't (2007b) Discontinuities: Tailoring the WLO-scenarios. [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl)

Klooster, Susan van 't, Jeroen Aerts & Bert Bannink (2007c) Evaluatie van de WLO-scenario's t.b.v. het project 'Aandacht voor Veiligheid'

Klooster, Susan van 't, Anne Walraven, Jouke Rozema, Jeroen Aerts (2007d)  
Verslag van de Perspectievenworkshop. [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl) → AVV

Klooster van 't, S. et al. (2007d). AVV workshop denken in conituiteiten.  
[www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl) → AVV.

Klijn, F., Baan, P., De Bruijn, K.M. ; J. Kwadijk & R. van Buren (2007). Nederland Later en Water: Ontwikkeling overstromingsrisico's in Nederland. WL | Delft Hydraulics Q4290.00, Delft, Nederland.

Kok, M, Huizinga, H.J., Vrouwenfelder, A.C.W.M., Van den Braak, W.E.W. (2005).  
Standaardmethode 2005 Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen.  
HKV Lijn in Water en TNO Bouw. PR999.10. Lelystad, Nederland

Kok, M. 2005 Een waterverzekering in Nederland: mogelijk en wenselijk?  
HKV LIJN IN WATER, Advies opgesteld in opdracht van de Adviescommissie Water,  
PR1038, september 2005

KNMI (2006) KNMI (2006). Van den Hurk, B., A. Klein Tank, G. Lenderink, A. van Ulden,  
G.J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder,  
G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger & S. Drijfhout), 2006. KNMI Climate Change  
Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01, De Bilt.

KNMI (2008). Extreme klimaatverandering en waterveiligheid in Nederland.  
AVV achtergrond rapport.  
[http://www.knmi.nl/klimaatsscenarios/maatwerk/water/AVV\\_maart\\_2008.pdf](http://www.knmi.nl/klimaatsscenarios/maatwerk/water/AVV_maart_2008.pdf)

Koomen, A.J.M., en Weijsschede, T.J. (2002). Evaluatie landschapsbeleid voor  
de Natuurbalans 2002. Alterra, werkdocument 2002-10.  
[http://library.wur.nl/file/wurpubs/LUWPUBRD\\_00345921\\_A502\\_001.pdf](http://library.wur.nl/file/wurpubs/LUWPUBRD_00345921_A502_001.pdf)

Koomen, E. Kuhlman T. et al. (2004) Simulating the future of agricultural land use in  
the Netherlands.

Koomen, E., Loonen, W. and Hilferink, M. (2008) Climate-change adaptations in land-use  
planning; a scenario-based approach. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography  
Series, Springer, Berlin (forthcoming)

Kragt, F.J., F.W. van Gaalen, P. Cleij, W. Ligtvoet (2006). Audit WB21: Eerste analyse  
opgave wateroverlast regionaal watersysteem t.b.v. LBOW overleg 11 september 2006  
MNP-rapportnummer: 555060001

Lammers, G.W. Lammers, A. van Hinsberg, W. Loonen, M.J.S.M. Reijnen, M.E. Sanders  
(2005) Optimalisatie Ecologische Hoofdstructuur. Milieu- en Natuurplanbureau Rapport  
nr 408768003. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/408768003.pdf>

LNV (2004) Agenda voor een Vitaal Platteland.

Kwadijk, J. (2008). Berekeningen van de huidige en toekomstige waterbalans per dijkkring. Database in bezit AVV project. [http://www9.minlnv.nl/pls/portal30/docs/FOLDER/MINLNV/LNV/STAF/STAF\\_DV/KAMERCORRESPONDENTIE/2004/BIJLAGEN/PAR04128A.PDF](http://www9.minlnv.nl/pls/portal30/docs/FOLDER/MINLNV/LNV/STAF/STAF_DV/KAMERCORRESPONDENTIE/2004/BIJLAGEN/PAR04128A.PDF)

Louisse consulting (2005) Indicatie Baten Delta In Zicht.  
[http://www.delta-wateren.nl/phpimg/nieuws\\_157\\_0c\\_Eindrapportage.pdf](http://www.delta-wateren.nl/phpimg/nieuws_157_0c_Eindrapportage.pdf)

Maaskant, B., Jonkman, B (2008). Approach for loss of life estimation in 'AVV'. Report TU delft for the Project Aandacht voor Veiligheid. March 2008.

Maaskant, B., Jonkman, B., Bouwer., L. (2008) The development of vulnerability to flooding: an analysis of future change in expected loss of life in South Holland (Netherlands). Report TU delft for the Project Aandacht voor Veiligheid. March 2008.

Massop, H.Th. L., P.C. Jansen en C. Kwakernaak. 2003. Natuur en Waterberging. Indicaties van overlappend ruimtegebruik. Alterra - rapport 766. Wageningen.

Meulen, van der MJ, Van der Spek AJF, De Lange G, Gruijters SHLL, Van Gessel SF, Nguyen BL, Maljers D, Schokker J, Mulder JPM, Van der Krogt RAA (2007): Regional Sediment Deficits in the Dutch Lowlands: Implications for Long-Term Land-Use Options. J Soils Sediments 7(1), 9-16

Min BZK (2008) <http://www.risicokaart.nl/>

MNP (2007). Nederland Later. Tweede Duurzaamheidsverkenning, deel Fysieke leefomgeving Nederland. <http://www.mnp.nl/nl/publicaties/2007/Duurzaamheidsverkenning2Nederlandlater.html>

Mostert, E. 2006. Water Law and Organization. Module CT5500. TU Delft.

Movares (2006). Barendrecht krijgt groot dakpark boven spoor. Land en Water no.10, 2006. [http://www.movares.nl/NR/rdonlyres/6F28D66D-BEDA-4533-9A98-3D561D008DE2/0/land\\_water.pdf](http://www.movares.nl/NR/rdonlyres/6F28D66D-BEDA-4533-9A98-3D561D008DE2/0/land_water.pdf)

Movares (2008). Advies aan het project Aandacht voor veiligheid over de kosten van ophogen. Interne notitie AVV,

Munich Re (2007) Topics Annual Review: Natural Catastrophes 2006. Munich Reinsurance Company, Munich.

Naples, N. and Jeroen Aerts (2007) Extreme Sea level rise and Major Coastal Cities Effects and solutions

NBW (2003) Het Nationaal bestuursakkoord water.  
[http://projecten.nederlandleeftmetwater.nl/html/topic\\_26\\_83.htm](http://projecten.nederlandleeftmetwater.nl/html/topic_26_83.htm)



NRC (2008) Zout en zoet water leveren stroom op. Langs de Afsluitdijk komt een grote energiecentrale voor 'blauwe' elektriciteit. NRC, 15 januari 2008. [http://www.nrc.nl/wetenschap/article894118.ece/Zout\\_en\\_zoet\\_water\\_leveren\\_stroom\\_op](http://www.nrc.nl/wetenschap/article894118.ece/Zout_en_zoet_water_leveren_stroom_op)

Olsthoorn, X., P. van der Werff, L.M. Bouwer and D. Huijter, Neo-Atlantis: The Netherlands under a five-metre sea level rise, in: Climatic Change, forthcoming 2008

Pielke jr, R. (2008) New Paper on Normalized Hurricane Damages. <http://sciencepolicy.colorado.edu/prometheus/archives/disasters/index.html>

PKB RvR (2005). PkR Ruimte voor de Rivier. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. [http://www.ruimtevoordrivier.nl/index.asp?m\\_id=102](http://www.ruimtevoordrivier.nl/index.asp?m_id=102)

Provincie Noord-Holland (2002) Kustvisie 2050. <http://www.noord-holland.nl/projecten/kustvisie/>

Provincie Zuid-Holland (2006). Westkust. Ruimtelijke kaders Delflandse kust. [www.kustvisiezuidholland.nl](http://www.kustvisiezuidholland.nl)

RandstadRapid (2008). <http://www.randstadrapid>

Reedt Dortland, van M., Fijter, de W., Hoekstra, A. (2008). Vluchtplaatsen in zelfredzame cellen als oplossing bij overstromingen. H2O-7, 2008.

RIVM (2004). Risico's in bedijkte termen. RIVM rapport 500799002, Bilthoven, The Netherlands.

RIZA (2004). Onderbouwd bouwen in het Veen. RIZA werkdokument 2004.142

Roggema R.E., Dobbelsteen, A. van den, Stegenga, K. (2006) Pallet of Possibilities, Provincie Groningen, 2006

RWS (2008) Actueel Droogtebestand Nederland. [http://www.ahn.nl/gebruikersdag/gebruikersdag\\_2006.php](http://www.ahn.nl/gebruikersdag/gebruikersdag_2006.php)

Sprong, T.A. (2008) Achtergronddocument case Business as Usual: Kostenschattingen. Eindversie m4 Maart 2008. [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl)

Sprong, T.A. en J. Aerts (2008) Redeneerlijn Overschrijdingskansen AVV. [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl)

Telegraaf (2008). Klimaatprofessor pleit voor superbrede dijken. De Financieel Telegraaf. 15 februari 2008.

TNO (2007). Nederland Omhoog. [http://www.tno.nl/content.cfm?context=markten&content=case&laag1=188&item\\_id=406](http://www.tno.nl/content.cfm?context=markten&content=case&laag1=188&item_id=406)

TNO (2008) Informatie via website Natuurinformatie: <http://www.natuurinformatie.nl/ndb.mcp/natuurdatabase.nl/i000331.html>

Twynstra Gudde (2006). Quick scan alternatieve veiligheidsmaatregelen. In opdracht van het Ministerie van verkeer en Waterstaat. Rapport no. 441245/SZB/MSD

UvW (2007) Stand van zaken Waterbeleid 21e eeuw. Unie van Waterschappen, November 2007

Valkering, P., Offermans, A., van Lieshout, M., Rijkens-Klomp, N., and van der Brugge, R. (2007). Inspelen op verandering. Een scenariostudie naar perspectiefwisselingen en transitie in het waterbeheer. Voortgangsrapportage Perspectieven in Integraal Waterbeheer. ICIS/Maastricht.

Vellinga P., (2003). Klimaatverandering en de veiligheid van Nederland  
Erasmuslezing 2003. Zeist: Stichting Erasmus Liga.

Vellinga, P.; Stive, M.J.F.; Vrijling, J.K.; Boorsma, P.B.; Verschuuren, J.M.; Ierland, E.C. van.(2006) Tussensprint naar 2015. Advies over de financiering van de primaire waterkeringen voor de bescherming van Nederland tegen overstroming. Amsterdam: Klimaatcentrum Vrije Universiteit, 2006 – p. 69.

VenW (1986) Zeespiegelrijzing – Worstelen met wassend water. Interne studie  
Dienst Getijde wateren

VenW (1998) Project 100 Miljard Noordzee: Toekomst verkenning. Rapportage creatieve sessie.

VenW (2000a) Verantwoordingsrapportage Gebruiksfuncties en Kosten in WINBOS, RIZA werkdokument 2001.049x

VenW (2000b) Derde Kustnota [http://www.rikz.nl/thema/kust\\_en\\_veiligheid/Beleid/kustnota.html](http://www.rikz.nl/thema/kust_en_veiligheid/Beleid/kustnota.html)

VenW (2000c) Extreme Toekomst: waterlast of waterlust? Ubbels A. en Van der Vlist, M. (eds). RIZA rapport 2000.027, 2000.%

VenW (2002) Spankracht studie (Projectgroep Spankrachtstudie., [http://www.rijkswaterstaat.nl/rws/riza/home/publicaties/rapporten/2003/nota\\_commentaar\\_spankrachtstudie.pdf](http://www.rijkswaterstaat.nl/rws/riza/home/publicaties/rapporten/2003/nota_commentaar_spankrachtstudie.pdf)

VenW (2003) Project Zwakke Schakels [http://www.verkeerenwaterstaat.nl/onderwerpen/water/water\\_en\\_veiligheid/vraag\\_en\\_antwoord/](http://www.verkeerenwaterstaat.nl/onderwerpen/water/water_en_veiligheid/vraag_en_antwoord/)

VenW (2003) Integrale rapportage “Signalen uit de Noordzee”, [http://www.noordzeeloket.nl/Images/Signalen%20uit%20de%20Noordzee\\_tcm14-2242.pdf](http://www.noordzeeloket.nl/Images/Signalen%20uit%20de%20Noordzee_tcm14-2242.pdf)

VenW (2004) Nota Mobiliteit. <http://213.156.8.79/content.php?pid=10>

VenW (2004b) Combikering Den Helder? <http://www.rikz.nl/thema/ikc/rapport2004/rikz2004015.html>

VenW (2006a) PkB Ruimte voor de Rivier. <http://www.ruimtevoorderivier.nl/>

VenW (2006b) WaterVeiligheid 21e eeuw <http://waterveiligheid.unitedknowledge.org/>

VenW (2006c). Primaire waterkeringen getoetst. Landelijke Rapportage Toetsing 2006 [http://www.verkeerenwaterstaat.nl/Images/br.1016%20bijlage%201\\_tcm195-164696.pdf](http://www.verkeerenwaterstaat.nl/Images/br.1016%20bijlage%201_tcm195-164696.pdf)

VenW (2006d). Integrale Verkenning Maas 2. Rijkswaterstaat dienst Limburg, 2006. Hoofdrapport en achtegronddocumenten.

VenW (2007) Beleidslijn kust. Verkeer en waterstaat 2007. [http://www.regering.nl/Actueel/Pers\\_en\\_nieuwsberichten/2007/september/14/Kabinet\\_stelt\\_Beleidslijn\\_kust\\_vast](http://www.regering.nl/Actueel/Pers_en_nieuwsberichten/2007/september/14/Kabinet_stelt_Beleidslijn_kust_vast)

VenW (2007b). 'Waterhuishouding in het Natte Hart' (WIN). <http://www.rijkswaterstaat.nl/ijg/water/waterkwantiteit/win/index.jsp>

VenW (2008a). Helden water. [http://www.helpdeskwater.nl/ict\\_hulpmiddelen/waterkeren/hydramodelen](http://www.helpdeskwater.nl/ict_hulpmiddelen/waterkeren/hydramodelen)

VenW (2008b). <http://www.waternormalen.nl/>

Wetten.nl (2008) <http://wetten.overheid.nl/cgi-bin/deeplink/law1/title=Wet%20op%20de%20waterkering>

VNK (2005) Veiligheid Nederland in Kaart. Ministry of Transport, Public works and Water Management. No. DWW-2006-010, The Hague, The Netherlands.

VR0M (2002). Ontwerpatelier Deltametropool. <http://doemee.vrom.nl/uploads/aK/DI/aKDIwfhCmZjMbFLRbGZX6w/ruimte3101.pdf>

VR0M (2004) [www.vrom.nl/get.asp?file=docs/kamerstukken/Mon7Nov20051457150100/](http://www.vrom.nl/get.asp?file=docs/kamerstukken/Mon7Nov20051457150100/)

VR0MSocratesdefinitieftkst2005192186.pdf

Wet op de Waterkering (2005) [http://www.st-ab.nl/wetten/0709\\_Wet\\_op\\_de\\_waterkering.htm](http://www.st-ab.nl/wetten/0709_Wet_op_de_waterkering.htm)

WINN (2006). [www.waterinnovatiebron.nl](http://www.waterinnovatiebron.nl).

WINN (2007) Een kunstrijf in de Noordzee. <http://www.waterinnovatiebron.nl/data/docs/lib/1-1164371986.pdf>

Witteveen en Bos (2008). Delta Plan 2008-2100. Cobouw 2008.

WL/Delft Hydraulics (1997). Eiland in zee, deel van een veerkrachtige kust, verkenning rond een vliegveld voor de Hollandse kust. Delft. <http://eilandinzee.wldelft.nl/plain/eiz34.htm>

WL Delft (1998). Rijn op termijn, <http://rijnoptermijn.wldelft.nl/>

WL/Delft Hydraulics, 2001. Onderzoeksprogramma (ONL) luchthaven in zee.  
Mariene ecologie en morfologie: reference scenarios and design alternatives. Delft.

WL Delft Hydraulics (1998) Naar een Multi functioneel Eiland. Mei 1998LWI-TNLI studie  
rapport

WL Delft Hydraulics (1998) De Rijn op termijn. <http://rijnoptermijn.wldelft.nl/>

WL Delft Hydraulics (2005) Meer Zand met minder moeite

WLO (2006) Welvaart en Leefomgeving.[http://www.welvaartenleefomgeving.nl/pdf\\_files/  
H5\\_9water.pdf](http://www.welvaartenleefomgeving.nl/pdf_files/H5_9water.pdf)

WWF (1996) Meegroeien met de Zee. Naar een veerkrachtige Kustzone.  
Wereld Natuur fonds, 1996.

Tielrooij , F. (2001) Waterbeleid voor de 21e eeuw. 50pp. <http://www.h2overheid.nl/>



# Annex 1

## Lijst van geïnterviewde experts

Naam	Organisatie
Tom Smit	Royal Haskoning
Adriaan Geuze	West 8 Architecten
Govert Geldof	TAUW
Peter van der Linde	Boskalis
Sybe Schaap	Unie van Waterschappen
Rein van der Kluyt	Unie van Waterschappen
Marcel Stive	TU Delft
Astrid Stokman	Provincie Noord Holland
Jan Mulder	Deltares
Michiel van der Meulen	Deltares
Leo Pols	RPb
Nico Pieterse	RPb
Wim Drossaert	Syncera



# Annex 2

## Lijst van workshops

Rapportage van deze workshops is te vinden op [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl) → AWV

Datum	Thema Workshop	Bijdrage Hoofdstuk
10 januari 2007	'Toekomstscenario's voor Nederland tot 2100'	H2
28 februari 2007	'Denken vanuit Discontinuïteiten'	H2
12 maart en 5 april 2007	'Backcasting Workshops'	H2, H5, H6
28 maart 2007	'Indicatoren voor kwetsbaarheid en overstromingen'	H4, H9
19 april 2007	'Perspectievenworkshop'	H5, H6
25 april 2007	'Klimaatworkshop'	H2
16 mei 2007	'Kosten en Baten van Veiligheid'	H8, H9
13 juni 2007	'Bestuurlijke ontwikkelingen'	H2, H3





# Annex 3

## Lijst van AVV achtergrondrapporten

De AVV achtergrondrapporten staan digitaal op [www.adaptation.nl](http://www.adaptation.nl) → AVV

Auteurs	Titel	Gebruikt in Hoofdstuk
Kerkhof, M van de , Tjeerd Stam, Jeroen Aerts, Susan van 't Klooster en Anne Walraven	Een backcasting analyse van een klimaatbestendig en waterveilig Nederland Werkdocument van het project Aandacht voor Veiligheid (AVV). <a href="http://www.adaptation.nl">www.adaptation.nl</a>	H2, H5, H6
Sprong, T.A	Achtergronddocument case Business as Usual: Kostenschattingen. Eindversie Maart 2008. <a href="http://www.adaptation.nl">www.adaptation.nl</a>	H4, H6, H8
Susan van 't Klooster, Corinne Cornelisse, Jeroen Aerts en Dave Huitema	'Veerkracht van Waterinstituten onder Klimaatverandering'	H3
Susan van 't Klooster	Discontinuities: Tailoring the WLO-scenarios	H2
Susan van 't Klooster, Jeroen Aerts en Bert Bannink	Evaluatie van de WLO-scenario's t.b.v. het project 'Aandacht voor Veiligheid'	H2
Monica Naples and Jeroen Aerts	Extreme Sea level rise and Major Coastal Cities Effects and solutions	H5
KNMI 2008	Extreme klimaatverandering en Waterveiligheid in Nederland Project Aandacht voor Veiligheid	H2
Jeroen Aerts, Anne Walraven, Jeroen Veraart, Susan van 't Klooster, Bert Bannink, Ton Sprong en Douwe Dillingh	Klimaat en Waterveiligheid in beleid Hoe worden lange termijn ontwikkelingen meegenomen in het huidige strategisch waterbeleid en het beleid voor de ruimtelijke ordening?	H3
Jeroen Aerts, Rob Dellink, Franziska Affolter, Bert Bannink, Michiel van der Meulen, Ernst Oosterveld, Henk Schuurman, Wim Braakhekke en Alphons van Winden.	Uitwerking Oplossingsrichting "Randstad Veilig"	H6, H8
Jeroen Aerts en Anne Walraven	Perspectieven voor Nederland. Achtergrondstudie in het kader van het project 'Aandacht voor Veiligheid'. <a href="http://www.adaptation.nl">www.adaptation.nl</a>	H5
Susan van 't Klooster, Anne Walraven, Jouke Rozema en Jeroen Aerts	Verslag van de Perspectievenworkshop	H5, H6
T. Sprong en J. Aerts	Redeneerlijn Overschrijdingskansen AVV	H4, H7
Karin de Bruijn	Bepalen van schade ten gevolge van overstromingen Voor verschillende scenario's en bij verschillende beleidsopties	H4, H7
Maaskant, B. en Jonkman, S.N.	Approach for loss of life estimation in 'Aandacht Voor Veiligheid' (AVV)	H4

Maaskant, B., Jonkman, S.N., Bouwer, L.M	The development of vulnerability to flooding: an analysis of future change in expected loss of life in South Holland (Netherlands)	H4
Immerzeel, W. en Droogers, P.	Klimaatverandering en lokale wateroverlast ten gevolge van extreme neerslag in Nederland	H4, H7, H8
Noor van der Hoeven, Chris Jacobs, Eric Koomen en Jeroen Aerts	Beschrijving van sociaal-economische scenario's voor het jaar 2100	H2
Chris Jacobs en Eric Koomen	Globale ruimtelijke evaluatie van oplossingsrichtingen. Achtergrond rapport voor de studie Aandacht voor Veiligheid, April 2008	H4

# Annex 4

## Klankbordgroep Aandacht voor Veiligheid

---

Pier Vellinga (Voorzitter)  
Wageningen UR

---

Eric Gloudemans  
Unie van Waterschappen

---

Harold van Waveren  
Waterdienst / Verkeer en Waterstaat

---

Jan Schuur  
Ruimtelijk Planbureau

---

Willem Ligtoet  
Milieu Natuuroplanbureau

---

Hans ten Hoeve  
VROM/ DG Ruimte

---

Piet Rietveld  
Vrije Universiteit Amsterdam

---

Pieter Bloemen  
VROM/ DG Ruimte

---

Carel Jan Reigersman  
Leven Met Water

---

Huib de Vriend  
Deltares

---

Bert Satijn  
Leven Met Water

---

Ton Sprong  
Dg Water

---

Frank Zaalberg  
IPO, provincie Zuid Holland



# Annex 5

## Mogelijk aanvullende aannames op WLO scenario's

Mogelijke aanvullende aannames ten aanzien van trends in beleid om de huidige WLO scenario's beter geschikt te maken voor waterveiligheidsanalyses tot 2100.

<b>Economie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Economische krimp en geringe investeringsbereidheid: voorstel: groeivoet van 0-1%</li> </ul>
<b>Wonen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relatie tussen bevolkingsontwikkeling en type huizen ('ruimtelijke kwaliteit')</li> <li>Veranderingen in (individueel) kapitaal</li> <li>Alleen vervangingsbehoefte na 2040?</li> </ul>
<b>Demografie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Effect van demografische krimp</li> </ul>
<b>Klimaat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meer variatie gewenst in emissiebeleid, zeker na 2040</li> </ul>
<b>Ruimtelijk beleid</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mobiliteitsbeleid (HSL naar het Noorden, Hanzelijn, grote investeringen ter bevordering van nationale mobiliteit)</li> <li>Niet meer bouwen in de Randstad maar elders in Nederland: Randstad ontvolkt</li> </ul>
<b>Europeanisering</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scenario 'Nederland als provincie van Europa'</li> </ul>
<b>Globalisering - lokalisering</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scenario waarin negatieve effecten van globalisering aanleiding geven tot autarkische samenlevingen (ziektes a.g.v. het op grote schaal vervoeren van vee; China en India "slurpen" aan de mondiale voedselvoorraad)</li> <li>Extremer RC (Regional Communities) scenario</li> </ul>
<b>Landbouw</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minder in Nederland (a.g.v. globalisering, afschaffing EU landbouwsubsidies, verzilting, kweldruk, hoge waterschapslasten)</li> <li>Lokale productie en consumptie (zie globalisering)</li> </ul>
<b>Waterbeheer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Invloed van veranderende financiële middelen op het doen van investeringen t.b.v. waterveiligheid?</li> <li>Koppel investeringsbereidheid aan een plotselinge overstroming.</li> <li>Moeilijk om ruimte te reserveren voor water. Makkelijker in hoogdynamische gebieden (bijv. landbouw)</li> <li>Krijgen we mensen wel (tijdig) uit het gebied als er zich een overstroming voordoet?</li> </ul>

## Colofon

Ontwerp en opmaak: insandouts, communication and design,  
Maassluis







Ministerie van Verkeer en Waterstaat



Aandacht voor Veiligheid is tot stand gekomen

in samenwerking met DG Water en de Bsik-programma's,

Klimaat voor Ruimte en Leven met Water